

S/N: TBA

7/30/2003

DOCKET NO.: SUG-169-USAP

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of: Masato YAMADA, et al.

Serial No.: TO BE ASSIGNED

Art Unit: TO BE ASSIGNED

Filed: July 30, 2003

Examiner: TO BE ASSIGNED

For: Light Emitting Device and Lighting Apparatus Using the Same

PRIORITY DOCUMENT TRANSMITTAL

Assistant Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 CFR 1.55 and the requirements of 35 U.S.C. 119, attached hereto is a certified copy of the priority documents, Japanese Patent Application No. 2002-224250, filed on July 31, 2002 and No. 2003-061684 filed on March 7, 2003.

It is respectfully requested that applicant be granted the benefit of the filing date of the foreign applications and that receipt of these priority documents be acknowledged in due course.

Respectfully submitted,



Ronald R. Snider
Reg. No. 24,962

Date: July 30, 2003

Snider & Associates
Ronald R. Snider
P.O. Box 27613
Washington, D.C. 20038-7613
(202) 347-2600

RRS/jt

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月31日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-224250

[ST.10/C]:

[JP2002-224250]

出 願 人

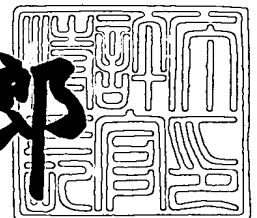
Applicant(s):

信越半導体株式会社

2003年 5月30日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3041345

【書類名】 特許願

【整理番号】 AX0219952S

【提出日】 平成14年 7月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

 【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目 1 3 番 1 号 信越半導体株式会
社 磯部工場内

 【氏名】 山田 雅人

【発明者】

 【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目 1 3 番 1 号 信越半導体株式会
社 磯部工場内

 【氏名】 高橋 雅宣

【特許出願人】

 【識別番号】 000190149

 【氏名又は名称】 信越半導体株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100095751

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 菅原 正倫

 【電話番号】 052-212-1301

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 003388

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9901665

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発光素子及びそれを用いた照明装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ピーク波長の異なる複数の発光を合成することにより、合成後のスペクトルのピーク波長での発光強度を基準強度として、該基準強度の 5 % 以上の発光強度を示す有効波長域が、5 0 n m 以上の波長幅にわたって確保された、擬似連続スペクトルを有する光を発光出力することを特徴とする発光素子。

【請求項 2】 前記擬似連続スペクトルを有する光は可視光であり、前記有効波長域が 5 0 n m 以上の波長幅にわたって可視光域内に確保されてなることを特徴とする請求項 1 記載の発光素子。

【請求項 3】 化合物半導体よりなるダブルヘテロ発光層部の活性層が、バンドギャップエネルギーの相違する複数の発光単位層を含んで構成され、それら発光単位層からの発光の組合せに基づいて前記擬似連続スペクトルを有した光を発光出力することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の発光素子。

【請求項 4】 前記発光単位層は 2 つの障壁層に挟まれた井戸層よりなることを特徴とする請求項 3 記載の発光素子。

【請求項 5】 前記井戸層の層厚及び／又は層数にて前記発光単位層の発光強度が調整されることを特徴とする請求項 4 記載の発光素子。

【請求項 6】 前記擬似連続スペクトルにおいて、発光強度の高い波長域ほど、該波長域に寄与する前記井戸層の層厚及び／又は層数が大きく設定されることを特徴とする請求項 5 記載の発光素子。

【請求項 7】 前記井戸層は、発光波長の短い前記発光単位層ほど井戸深さが小さく設定されることを特徴とする請求項 4 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 8】 前記発光単位層は量子井戸構造を有することを特徴とする請求項 4 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 9】 前記量子井戸構造をなす前記発光単位層は、前記井戸層の層数にて発光強度が調整されることを特徴とする請求項 8 記載の発光素子。

【請求項 1 0】 前記井戸層は、発光波長の短い前記発光単位層ほど層厚が

小さく設定されることを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の発光素子。

【請求項 1 1】 前記ダブルヘテロ発光層部は、積層方向片側の主表面が光取出面とされており、前記発光単位層は、発光波長の長いものほど、前記活性層の層厚方向において前記光取出面より遠い位置に配置されることを特徴とする請求項 3 記載の発光素子。

【請求項 1 2】 発光波長の互いに異なる複数の前記発光単位層を繰り返し単位として、該繰り返し単位を前記活性層の層厚方向において複数形成したことを特徴とする請求項 3 ないし 1 0 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 1 3】 前記ダブルヘテロ発光層部は、積層方向片側の主表面が光取出面とされており、前記繰り返し単位内にて前記発光単位層は、発光波長の長いものほど、前記活性層の層厚方向において前記光取出面より遠い位置に配置されることを特徴とする請求項 1 2 記載の発光素子。

【請求項 1 4】 複数の前記発光単位層は、バンドギャップエネルギーの大小配列において、隣接するバンドギャップエネルギー間の差分値が 0. 4 2 e V 以下であることを特徴とする請求項 3 記載の発光素子。

【請求項 1 5】 前記擬似連続スペクトルの前記有効波長域を、発光波長の異なる 4 以上の前記発光単位層により合成することを特徴とする請求項 1 4 記載の発光素子。

【請求項 1 6】 前記ダブルヘテロ発光層部が $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) にて構成され、前記有効波長域が 5 5 0 n m 以上 6 7 0 n m 以下の波長範囲内に確保されていることを特徴とする請求項 3 記載の発光素子。

【請求項 1 7】 前記擬似連続スペクトルの前記有効波長域に属する予め定められた波長域が、当該波長域に対応する色調の演色性を、他の波長域に対応する色調への演色性よりも選択的に高めた演色波長域となるように、前記擬似連続スペクトルの強度分布が定められてなることを特徴とする請求項 1 ないし 1 6 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 1 8】 前記演色波長域に寄与する前記発光単位層の発光強度が、他の波長域に寄与する前記発光単位層の発光強度よりも高く設定されてなること

を特徴とする請求項 1 7 記載の発光素子。

【請求項 1 9】 各々化合物半導体よりなるダブルヘテロ発光層部を有してなり、該ダブルヘテロ発光層部の活性層に含まれる発光単位層の発光波長が、520nm以上700nm以下の範囲で設定される第一の素子と、同じく360nm以上560nm以下の範囲で設定される第二の素子とが組み合わされてなり、それら第一の素子と第二の素子との少なくとも一方が、前記活性層中に前記発光単位層を複数含んでなることを特徴とする請求項 3 記載の発光素子。

【請求項 2 0】 前記第一の素子は、前記ダブルヘテロ発光層部が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) にて構成され、前記第二の素子は、前記ダブルヘテロ発光層部が $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $x + y \leq 1$) にて構成されてなることを特徴とする請求項 1 9 記載の発光素子。

【請求項 2 1】 前記擬似連続スペクトルは、波長710nm以上の赤外発光成分を含まないことを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 2 2】 前記擬似連続スペクトルは、波長350nm以下の紫外発光成分を含まないことを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 2 3】 請求項 1 ないし 2 2 のいずれか 1 項に記載の発光素子と、当該発光素子に発光駆動電力を供給する電力供給部とを有し、前記発光素子からの前記可視光を照明光として取り出すようにしたことを特徴とする照明装置。

【請求項 2 4】 前記電力供給部は、電源部からの出力電圧を発光素子駆動電圧に変換する電圧変換部を有してなることを特徴とする請求項 2 3 記載の照明装置。

【請求項 2 5】 前記電圧変換部には前記発光素子駆動電圧を出力する駆動電圧出力端子が設けられ、前記発光素子と受電端子とが一体化された光源モジュールが、前記受電端子にて前記駆動電圧出力端子に着脱可能に取り付けられることを特徴とする請求項 2 4 記載の照明装置。

【請求項 2 6】 前記電源部として商用交流電源を使用し、前記電圧変換部

は、該商用交流電源を直流電圧に変換するAC/DCコンバータを有することを特徴とする請求項24又は25に記載の照明装置。

【請求項27】 前記電圧変換部が、前記商用交流電源に直結された電球用ソケット対し、前記電球用ソケットと互換性を有する装着導体部にて着脱可能に装着される請求項26記載の照明装置。

【請求項28】 前記電圧変換部と前記発光素子とが一体不可分に結合されて、電圧変換機能付光源ユニットを構成してなることを特徴とする請求項27記載の照明装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、発光素子とそれを用いた照明装置に関する。

【0002】

【従来技術】

照明用の光源としては、古くから白熱電球が使用されており、また、白熱電球が発明される以前には、蠟燭や松明などの自然燃焼光が照明用として用いられていた。白熱電球はフィラメントの抵抗発熱を利用するものであるから、寿命が短く、かつ、ジュール発熱損失が大きいため効率が悪い欠点がある。また、発光に伴い、可視光ばかりでなく赤外線も多量に放射されるので、光源の温度上昇が著しい問題がある。また、自然燃焼光は、電球に比べてさらに寿命が短く、燃焼熱のほか、すすや炭酸ガスなどの燃焼生成物の発生も著しいので、手入れが大変である。

【0003】

他方、白熱電球以外の一般照明用光源として、蛍光ランプがある。蛍光ランプは、微量の水銀を封入したガラス管内の電極に高圧を印加して熱電子を発生させ、その熱電子で励起された水銀からの放射紫外線により、ガラス管内面に塗付した蛍光体をフォトルミネセンス発光させるものである。使用する蛍光体により種々のスペクトルの発光が可能であるが、一般に広く使用される蛍光体は、ハロリン酸カルシウム ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaFCl/Sb, Mn}$) であり、例

例えばFとCl, SbとMnのそれぞれの量を調整することにより、種々の色温度の白色光を得ることができる。蛍光灯は、白熱電球と比べれば消費電力が小さく、また、白色で明るいため、過去には白熱電球が占めていた用途の大半を置き換えるに至っている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、しかし蛍光灯にも、以下のような欠点がある。

- ・陰極放電を利用して紫外線を発生させるため、電極の蒸発消耗により比較的早期に寿命が尽きやすい。
- ・高電圧を必要とするため、白熱電球と比べれば小さいとはいえ、消費電力は、依然無視はできない。
- ・ランプ廃棄に伴い、紫外線源としてガラス管内に封入された水銀が放出されるため、環境保護上の観点においても今後は敬遠されてゆくことが予想される。
- ・紫外線の漏洩があるため、紙類などの光やけ等を起しやすい。
- ・ハロリン酸カルシウム系の蛍光は白色光ではあるが、そのスペクトルは、自然光（太陽光）スペクトルとの相違が大きく、演色性に難点がある。例えば、赤・緑・青（RGB）の3波長領域での幅の狭い発光を組み合わせ、より演色性の優れた照明を実現することも行なわれているが、各色の蛍光体のスペクトルが輝線状の鋭いピークを有するため、演色性に関して自然光との間には埋めがたい隔りがある。

【0005】

なお、発光用光源としては、半導体を用いた発光ダイオードがある。しかし、発光ダイオードは、使用する半導体のバンドギャップの値により発光波長域に制約があるため、広い可視光帯域をカバーする発光スペクトルを得ることができず、その多くは単色光の発光に近い。従って、演色性が要求される一般照明用としての用途はほとんどなかった。なお、近年は、InGaAlN系の化合物を用いた高輝度の青色系発光素子の実現した背景を受け、光の三原色に相当する赤、緑、青の単色光をそれぞれ出力する発光素子を組み合わせ、種々の混合色発光を可能とする発光素子が多数開発され、照明用に用いる提案もなされている。しか

し、この種の素子は、光の三原色に対応した鋭い輝線ピークを有する極めて離散的な発光スペクトルしか発生できないので、中間波長域の演色性に劣る欠点がある。

【0006】

本発明の課題は、広い波長域にまたがる擬似的な可視光連続スペクトルを簡単かつ安価に発生でき、しかも、従来型の光源の有する種々の欠点を一挙に解決可能な発光素子と、それを用いた照明装置とを提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段及び作用・効果】

上述の課題を解決するために、本発明の発光素子は、ピーク波長の異なる複数の発光を合成することにより、合成後のスペクトルのピーク波長での発光強度を基準強度として、該基準強度の5%以上の発光強度を示す有効波長域が、50nm以上の波長幅にわたって確保された、擬似連続スペクトルを有する光を発光出力することを特徴とする。また、本発明の照明装置は、該本発明の発光素子と、当該発光素子に発光駆動電力を供給する電力供給部とを有し、発光素子からの可視光を照明光として取り出すようにしたことを特徴とする。

【0008】

本発明の発光素子は、量子光学的なキャリアの発光再結合を利用することにより生成される、ピーク波長の異なる複数の発光（以下、発光単位ともいう）を組み合わせることににより、広い波長幅（具体的には、上記有効波長域が50nm以上）の連続スペクトルを擬似的に合成する。単色光発光に近い従来の半導体発光素子は、例えば半値幅が20nm程度であり、ピーク波長での発光強度を基準強度としたときの、該基準強度の5%以上の発光強度を示す有効波長域は通常40nm程度以下である。従って、該従来の半導体発光素子では、有効波長域の幅が50nm以上となるような連続スペクトルを出力することは到底できない。なお、基準強度の5%以下となる波長域は、例えば照明光の場合、照明の明るさや演色性等にほとんど寄与しないと考えられる。しかし、本発明の発光素子によると、このような有効波長の発光スペクトルを、発光単位の種々の組合せにより容易に合成できる。また、光源として半導体発光素子を用いるので経時的な劣化が小

さく長寿命であり、基本的に発光素子への通電回路さえあれば連続発光可能であるから回路構成も簡略化できる。さらに、高電圧を必要とせず、抵抗損失も小さいので消費電力が少なくて済む。また、蛍光ランプにおける水銀なども使用されないで、エコロジカルにクリーンな発光装置が実現できる。

【 0 0 0 9 】

なお、本発明が適用可能な光の波長域は、例えば照明用の場合は可視光域（360 nm以上700 nm以下）である。すなわち、前記の擬似連続スペクトルを有する光を可視光とすることができ、有効波長域が50 nm以上の波長幅にわたって可視光域内に確保された素子とすることができる。これにより、照明用等の所望の可視光連続スペクトルプロファイルを自在に実現できる。しかし、本発明は照明用に限定されるものではなく、従って、紫外あるいは赤外の領域を含む波長域に適用することも可能である。なお、以下においては、可視光域を主体とする波長域に適用した説明にて代表させる。

【 0 0 1 0 】

上記本発明の発光素子は、化合物半導体よりなるダブルヘテロ発光層部の活性層が、バンドギャップエネルギーの相違する複数の発光単位層を含んで構成され、それら発光単位層からの発光の組合せに基づいて擬似連続スペクトルを有した光を発光出力するものとして構成することができる。化合物半導体にて構成したダブルヘテロ構造の発光層部（ダブルヘテロ発光層部）は、活性層両側のクラッド層がキャリアへの障壁として作用するため、その閉じ込め効果により高い効率での発光が可能である。上記の構成では、そのようなダブルヘテロ発光層部の活性層部に、バンドギャップエネルギーの相違する複数の発光単位層を作りこみ、各発光単位層からの発光（以下、発光単位ともいう）の組合せに基づいて連続スペクトルを擬似的に合成する。これによれば、波長の異なる複数の発光単位層が作りこまれた活性層（以下、これを「複合活性層」ともいう）を用いるので、複数の発光波長が合成された擬似連続スペクトルを少ない素子数で実現できる。また、光源及びその周辺回路を大幅に簡略化でき、ひいては安価で高性能かつ低消費電力の照明装置が実現できる。なお、赤外線の原因を抑制したい場合は、発光波長が赤外域に属さない発光単位層を選んで組み合わせればよく、紫外線の発生

を抑制した素子が必要な場合は発光波長が紫外域に属さない発光単位層を選んで組み合わせればよい。

【 0 0 1 1 】

白熱電球や蛍光ランプは、発光原理に由来した不可避的な事情から、前者においては赤外線（熱線）が、後者においては紫外線が、それぞれ相当量発生する。他方、本発明の発光素子においては、発光波長が赤外域に属さない発光単位を選んで組み合わせれば、波長 7 1 0 n m 以上の赤外発光成分を含まない擬似連続スペクトルを簡単に得ることができる。他方、発光波長が紫外に属さない発光単位を選んで組み合わせれば、波長 3 5 0 n m 以下の紫外発光成分を含まない擬似連続スペクトルを簡単に得ることができる。つまり、白熱電球や蛍光ランプにおいて避けがたかった赤外線や紫外線の発生を、簡単かつ極めて効果的に抑制することができる。なお、化合物半導体からなる各発光単位層からの発光スペクトルは、一般には半値幅の狭いピーク波形を有したものとなるが、バックグラウンド領域には微量ながら赤外発光成分や紫外発光成分が不可避的に含まれることがある。このような不可避的な赤外ないし紫外発光成分は、積極利用するものでない限り、「含まれない」概念に属するものとみなす。

【 0 0 1 2 】

本発明の発光素子においては、種々の波長の発光単位を種々の強度にて組み合わせることにより、熱放射型光源などに見られる波長域の広いアナログ的な連続スペクトルを、いわばデジタル的に合成する点に特徴がある。量子化レベルの低い（つまり、解像度の低い）デジタル画像の輪郭にジャギーが存在するごとく、本発明の発光素子が合成する擬似連続スペクトルにおいても、各発光単位の波長の間隔が大きすぎると、飛び飛びの波長ピークに対応した波打ちがスペクトル波形に生じやすくなる。従って、スムーズな連続スペクトルを実現するには、発光単位の波長間隔をなるべく詰めることが望ましい。具体的には、複数の発光単位層は、そのバンドギャップエネルギーの大小配列において、隣接するバンドギャップエネルギー間の差分値が 0. 4 2 e V 以下、より望ましくは 0. 2 e V 以下となっているのがよい。また、該差分値の下限値は小さければ小さいほど、よりスムーズなスペクトル波形が得られるが、差分値が過度に小さくなりすぎると、

必要な発光単位層の数が多くなりすぎて、製造コストの高騰につながる。擬似連続スペクトルを形成する発光単位のピーク波長の間隔は、スペクトル半値幅よりも狭いと、隣接するスペクトル間の重なりが大きくなりすぎて無駄が多くなる。ダブルヘテロ構造の発光素子においては、発光単位のスペクトル半値幅がおおむね 20 nm 前後であることを考慮すれば、上記隣接するバンドギャップエネルギー間の差分値を 0.05 eV 以上に設定することが望ましい。

【 0 0 1 3 】

モデルとする可視光の連続スペクトルは、例えば熱放射型光源の連続スペクトルとすることができる。熱放射型光源は、光源温度によって異なる発光スペクトルを示す。例えば白熱電球（3000 K 前後）や燃焼光（1500 K 前後）など、照明用に多く用いられている光源の場合、太陽光ほどには光源温度が高くないために、黄色あるいはオレンジ色に着色して見える。しかし、光源が着色しているにもかかわらず、演色性の低下は思ったほど甚だしくないことが知られている。これには、目の順応と、低温の熱放射型光源のスペクトルにも、比較的広い帯域の可視光波長成分がカバーされていることの2つが関係している。そして、実際の熱放射型光源との視覚的な差異がなるべく目立たない擬似連続スペクトルを得るためには、特に後者の観点において、なるべく広い波長範囲の可視光成分がスペクトルに含まれていることが望ましい。具体的には、ピーク波長での発光強度を基準強度として、該基準強度の5%以上の発光強度を示す有効波長域が、少なくとも500 nm 以上600 nm 以下の範囲にわたって確保されていることが望ましい。有効波長域がこれよりも狭くなると、照明の演色性が著しく損なわれる場合がある。該有効波長域は、望ましくは、少なくとも470 nm 以上650 nm 以下、さらに望ましくは400 nm 以上670 nm 以下の範囲にわたって確保されているのがよい。また、擬似連続スペクトルの上記の有効波長域は、発光波長の異なる4以上の発光単位層（後述のように、2素子以上を組み合わせる場合は、その合計の発光単位層の数とする）により合成することが、スムーズなスペクトル波形を実現し、ひいては演色性を高める観点において望ましい。

【 0 0 1 4 】

ダブルヘテロ発光層部は、例えばⅢⅢⅢ-V族化合物半導体あるいはⅢⅢ-V

I 族化合物半導体にて構成することができ、活性層に含まれる発光単位層の発光波長は、該発光単位層を構成する混晶化合物半導体の混晶比により調整することができる。

【0015】

なお、本発明の適用対象となる波長域は、当然、熱放射型光源に限られるものではない。例えば、熱放射型光源は、青色（あるいは青緑）系から赤色系までの広い波長帯域をカバーするが、白熱電球の発光スペクトルから青色系の波長域の可視光をカットした場合、多少の演色性の低下はあるものの、残った波長域のみで、白熱電球特有の黄色ないしオレンジ色の優位な照明色を擬似的に実現できることに変わりはない。この場合、具体的には、ダブルヘテロ発光層部を、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ）にて構成できる。この素子は、混晶比 x ， y の設定により、550 nm 以上 670 nm 以下の範囲で、高強度を維持しつつ発光波長を容易に調整することができる。また、青色系の波長域が欠落することで、通常の白熱電球では得られない風変わりな照明感も実現できる場合がある。

【0016】

逆に、太陽光スペクトルなど、青色系の波長域の強度が高いスペクトルの場合、赤色系の波長域の光をカットすると、青色系の色調が勝った特殊な演色効果が得られる。いずれも、50 nm 以上もの有効波長域を有する擬似連続スペクトルであるから、単色光のような単調で不自然な照明色とはならず、演色性も優れたものとなる。具体的には、ダブルヘテロ発光層部を、 $In_aGa_bAl_{1-a-b}N$ （ $0 \leq a \leq 1$ ， $0 \leq b \leq 1$ ， $a + b \leq 1$ ：以下、 $InGaAlN$ とも記載する）にて構成された素子とすることができる。この素子は、混晶比 a ， b の設定により、360 nm 以上 560 nm 以下の範囲で、高強度を維持しつつ発光波長を容易に調整することができる。

【0017】

$AlGaInP$ 及び $InGaAlN$ は、発光駆動電圧が、前者は 2 V 前後、後者が 3 V 前後といずれも低く、さらに 50～800 mA 程度の通電にて照明用に十分な発光強度を得ることができ、駆動回路を簡略化できる上消費電力も小さい

利点がある。

【 0 0 1 8 】

一方、逆に有効波長域をさらに広く確保した発光素子を実現しようとする場合、単一の化合物半導体系では、全ての波長域を十分な発光強度にてカバーできないこともある。そこで、波長域に応じて異なる種別の化合物半導体系を使い分けることができる。具体的には、それぞれ系の異なる化合物半導体にてダブルヘテロ発光層部を構成した複数の素子を組合せ、各素子からの発光スペクトルを合成して出力する構成を採用することができる。波長域に応じ、発光強度確保の上で有利となる化合物半導体系を選んで個別の素子を構成し、これを組み合わせることにより、どの波長域においても、得るべき擬似連続スペクトルの波形に応じて必要十分な発光強度を容易に確保できる。この場合、それら複数の素子の少なくとも1つを、複数の発光単位層が作りこまれた複合活性層を有するものとして構成することで、素子数削減の効果を達成することができる。

【 0 0 1 9 】

複数の素子に分割して構成する具体例として、各々化合物半導体よりなるダブルヘテロ発光層部を有してなり、該ダブルヘテロ発光層部の活性層に含まれる発光単位層の発光波長が、520 nm以上700 nm以下の範囲で設定される第一の素子と、同じく360 nm以上560 nm以下の範囲で設定される第二の素子とが組み合わさる構成を例示できる。そして、それら第一の素子と第二の素子との少なくとも一方を、活性層中に発光単位層を複数含んだものとして構成する。可視光帯域は360 nmから700 nmまでの比較的広範囲に及ぶが、その全帯域をカバーするには、バンドギャップ幅を1.75 eV～3.2 eVの広い範囲にて変化させることが可能でなければならない。他方、現在、発光素子用として使用されている化合物半導体は、長波長側（520 nm以上700 nm以下）あるいは短波長側（360 nm以上560 nm以下）のどちらかでのみ高発光強度が得られる、というタイプのものが多い。従って、このような2種の素子を組み合わせれば、可視光帯域の略全域を効果的にカバーでき、また、使用する素子の種類も2種類のみであるから、素子数削減効果も大きい。さらに、2種の素子の波長域は、490～560 nmの緑色系帯域を分かち合う形で定められているが

、熱放射型光源のスペクトルに帯域幅として最も広く含まれる緑色系帯域を2種の素子で分担することで、よりスムーズで帯域の欠落が少ない、高品質の擬似連続スペクトル波形を実現することができる。第一の素子は、具体的にはダブルヘテロ発光層部が $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ (ただし、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) にて構成された素子とすることができる。また、第二の素子は、ダブルヘテロ発光層部が $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $x + y \leq 1$) にて構成された素子とすることができる。

【0020】

なお、III-V族化合物半導体としては、より長波長域をカバーするGaAlAs (可能な波長域640nm以上700nm) にて、ダブルヘテロ発光層部を構成することも可能である。また、短波長域をカバーする素子は、例えば、 $Mg_aZn_{1-a}O$ (ただし、 $0 \leq a \leq 1$) 型酸化物や、あるいはSiCあるいはZnSeなどのII-VI族化合物半導体によりダブルヘテロ発光層部を構成することも可能である。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図面を用いて説明する。

図1は、本発明の一実施形態である発光素子を用いた照明用光源の一例を示すものである。照明用光源50は、本発明の概念による発光素子10, 20を有する。該発光素子10, 20は、第一の素子10と第二の素子20であり、いずれも、化合物半導体よりなるダブルヘテロ発光層部 (以下、単に発光層部という) 8, 18の活性層 (図2参照) が、バンドギャップエネルギーの相違する複数の発光単位層を含んで構成される。第一の素子10は、発光単位層の発光波長が520nm以上700nm以下の範囲で設定され、第二の素子20は、発光単位層の発光波長が360nm以上560nm以下の範囲で設定される。そして、照明用光源50は、これらの2種の素子10, 20からの発光を互いに混合して、熱放射型光源の連続スペクトルを擬似的に合成し、擬似連続スペクトルを有した可視光として発光出力する。

【0022】

図 2 は第一の素子 1 0 の積層構造を例示するものである。第一の素子 1 0 は、
 n 型 GaAs 単結晶基板（以下、単に基板という）1 の第一主表面 MP 1 上に発
 光層部 8 が形成されている。この基板 1 の第一主表面 MP 1 と接するように n 型
 GaAs バッファ層 2 が形成され、該バッファ層 2 上に発光層部 8 が形成される
 。そして、その発光層部 8 の上に電流拡散層 7 が形成され、その電流拡散層 7 の
 上に、発光層部 8 に発光駆動電圧を印加するための第一電極 9 が形成されている
 。また、基板 1 の第二主表面 MP 2 側には、同じく第二電極 3 が全面に形成され
 ている。第一電極 9 は、第一の素子 1 0 の第一主表面 PF の略中央に形成され、
 該第一電極 9 の周囲の領域が発光層部 8 からの光取出領域とされている。

【 0 0 2 3 】

発光層部 8 は、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 0.55$ 、 $0.45 \leq y \leq 0.55$ ）混晶からなる活性層 5（例えばノンドープのもの：ただし、必要に応じてドーパントの添加が可能である）を、p 型 $(Al_zGa_{1-z})_yIn_{1-y}P$ （ただし $x < z \leq 1$ ）からなる p 型クラッド層 6 と n 型 $(Al_zGa_{1-z})_yIn_{1-y}P$ （ただし $x < z \leq 1$ ）からなる n 型クラッド層 4 とにより挟んだ構造を有する。図 2 では、第一電極 9 側に p 型 AlGaInP クラッド層 6 が配置されており、第二電極 3 側に n 型 AlGaInP クラッド層 4 が配置されている。従って、通電極性は第一電極 9 側が正である。なお、ここでいう「ノンドープ」とは、「ドーパントの積極添加を行なわない」との意味であり、通常の製造工程上、不可避免的に混入するドーパント成分の含有（例えば $10^{13} \sim 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度を上限とする）をも排除するものではない。また、電流拡散層 7 は p 型 GaP 層として形成されている。

【 0 0 2 4 】

また、図 3 は、第二の素子 2 0 の積層構造を例示するものである。第二の素子 2 0 は、n 型 SiC 単結晶基板（以下、単に基板という）11 の第一主表面 MP 1 上に発光層部 18 が形成されている。この基板 11 の第一主表面 MP 1 と接するように n 型 GaN バッファ層 12 が形成され、該バッファ層 12 上に発光層部 18 が形成される。そして、その発光層部 18 の上に電流拡散層 17 が形成され、その電流拡散層 17 の上に、発光層部 18 に発光駆動電圧を印加するための第

一電極 1 9 が形成されている。また、基板 1 1 の第二主表面 M P 2 側には、同じく第二電極 1 3 が分散形態で形成されている。第一電極 1 9 は、第二の素子 2 0 の第一主表面 P F の略中央に形成され、該第一電極 1 9 の周囲の領域が発光層部 1 8 からの光取出領域とされている。

【 0 0 2 5 】

発光層部 1 8 は、ノンドープ $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_{1-a-b}\text{N}$ 混晶からなる活性層 1 5 を、p 型 $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_{1-a-b}\text{N}$ からなる p 型クラッド層 1 6 と n 型 ($\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_{1-a-b}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 1 4 とにより挟んだ構造を有する。図 3 では、第一電極 1 9 側に p 型 AlGaInP クラッド層 1 6 が配置されており、第二電極 3 側に n 型クラッド層 1 4 が配置されている。従って、通電極性は第一電極 1 9 側が正である。また、電流拡散層 7 は、p 型 GaN により形成されている。

【 0 0 2 6 】

いずれの素子も、各層のエピタキシャル成長は、公知の有機金属気相エピタキシャル成長 (Metalorganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE) 法により行なうことができる。また、光取出強度を高めるため、発光層部 8, 1 8 と基板 1, 1 1 との間に反射層を設けてもよい。

【 0 0 2 7 】

図 4 は、第一の素子 1 0 の活性層 5 の構造の一例をバンド図の形にて模式的に示すものである。また、図 7 は、第二の素子 2 0 の活性層 1 5 の構造の一例をバンド図の形にて模式的に示すものである。該活性層 5, 1 5 において発光単位層は、各々 2 つの障壁層 B, B に挟まれた井戸層 $W_1 \cdots W_n$ よりなる。障壁層 B, B に挟まれた井戸層 $W_1 \cdots W_n$ を発光単位層とすることで、井戸層内へのキャリア閉じ込め効果により、個々の発光単位層の発光効率を高めることができる。各井戸層 $W_1 \cdots W_n$ の発光波長は、それぞれのバンドギャップエネルギー $E_{g1} \cdots E_{gn}$ (図 4), $E_{g'1} \cdots E_{g'n}$ (図 7) (\equiv 各井戸層での $E_c - E_v$ の値: E_c は伝導体底エネルギーレベル、 E_v は価電子帯頂エネルギーレベル) に応じて定まる。本実施形態では、各井戸層 $W_1 \cdots W_n$ が全て異なるバンドギャップエネルギーを有し、それぞれ個別の発光単位層を形成している。つまり、1 つの

発光単位層に含まれる井戸層の数を1つとしている。ただし、後述のように、同一バンドギャップエネルギーの複数の井戸層の組を発光単位層とすることもできる。表1は、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ の各混晶比 x 、 y と、得られるバンドギャップエネルギー及び発光波長（及び目安となる発光色）の関係を例示したものである。 $x \geq 0.6$ では間接発光となり、発光強度が低下するので、 $x < 0.6$ にて設定することが望ましい。また、表2は、 $\text{In}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ の混晶比 a と、得られるバンドギャップエネルギー及び発光波長（及び目安となる発光色）の関係を例示したものである。なお、図4において、井戸層における伝導体底エネルギー E_c は、井戸層のバンドギャップエネルギーが大きいほど高く設定され、他方、価電子帯頂エネルギー E_v は井戸層のバンドギャップエネルギーが大きいほど低く設定されるように描いているが、バンド構造はこれに限定されるものではない。例えば、価電子帯頂エネルギー E_v の大小は、井戸層の組成により、バンドギャップエネルギーの大小に一義的に対応しない場合がある。

【0028】

【表1】

Xv(Al)	Yv(Al,Ga)	格子定数(Å)	Eg(eV)	波長(nm)	発光色
0	0.5	5.650693	1.90110123	652.0	赤
0.1	0.5	5.651336	1.9625402	631.6	赤みのオレンジ
0.2	0.5	5.651980	2.02397916	612.4	オレンジ
0.3	0.5	5.652624	2.08541812	594.4	黄みのオレンジ
0.4	0.5	5.653268	2.14685709	577.4	黄
0.5	0.5	5.653912	2.20829605	561.3	黄緑
0.6	0.5	5.654556	2.26973501	546.1	(黄みの緑)
0.7	0.5	5.655200	2.33117397	531.7	(緑)
0.8	0.5	5.655843	2.39261294	518.1	(緑)
0.9	0.5	5.656487	2.4540519	505.1	(青みの緑)
1	0.5	5.657131	2.51549086	492.7	(青緑)

【0029】

【表 2】

Xv(ln)	Eg(eV)	波長(nm)	発光色
0	3.4	364.5	(紫外)
0.1	3.165	391.6	紫
0.2	2.95	420.2	紫
0.3	2.755	449.9	青紫
0.4	2.58	480.4	青
0.5	2.425	511.1	青みの緑
0.6	2.29	541.3	緑

【0 0 3 0】

第一の素子 1 0 及び第二の素子 2 0 のいずれにおいても、上記複数の発光単位層、すなわち井戸層 $W_1 \cdots W_n$ は、バンドギャップエネルギーの大小配列において、隣接するバンドギャップエネルギー間の差分値 ΔE が、 0.42 eV 以下、望ましくは 0.2 eV 以下とされる。バンドギャップエネルギー間の差分値 ΔE が過度に大きくなると、単位スペクトルのピーク位置間の距離が大きくなりすぎ、合成された波形に大きな波打ちが生じて、滑らかなスペクトルが得られなくなる。なお、差分値 ΔE は、バンドギャップエネルギーが隣接する全ての発光単位層の組に対して等しく設定することもできるし、必要とする発光スペクトル形状に応じて、強度を意識的に高めたい波長域においては間隔を密とし、逆に強度を抑制したい波長域においては間隔を粗とするなど、少なくとも一部の発光単位層の組について不等間隔に設定することもできる。

【0 0 3 1】

各発光単位層からの発光強度は、井戸層 $W_1 \cdots W_n$ の層厚により調整することができ、例えば後述の量子井戸構造をとらない場合は、ある層厚までは、層厚の増加に伴い発光強度を高めることができる。発光単位層中の井戸層の数が 1 である場合は、該層厚調整により発光強度の調整が可能である。他方、層厚を増加させる代わりに、図 1 3 に示すように、1 つの発光単位層中の井戸層の数を増やすこと、つまり同じバンドギャップエネルギー ($E_{g1}, E_{g2}, \dots, E_{gn}$) の井戸層を複数層形成することによって発光強度を増加させることができる。つまり、発光単位層からの発光強度は、井戸層の層数によっても調整可能である。こ

の構造においては、個々の井戸層の厚さは増加しないので、キャリア閉じ込め効果の観点においてより有利であり、発光効率を高めることができる。すなわち、井戸層の層厚及び／又は層数にて発光単位層の発光強度が調整される。得るべき擬似連続スペクトルにおいて、発光強度の高い波長域ほど、該波長域に寄与する井戸層の層厚及び／又は層数を大きく設定すればよく、想定した擬似連続スペクトルを得るための発光単位層の設計を容易に行なうことができる。なお、図4に示すように、個々の井戸層は、その井戸層での発光に寄与しないキャリアが他の井戸層に向けて移動することが妨げられないように、障壁層の高さを略一定にそろえておくことが望ましい。その結果、発光波長の短い発光単位層（つまり、バンドギャップエネルギーが広い井戸層を有する発光単位層）ほど井戸深さを小さく設定しておくことが望ましい。

【 0 0 3 2 】

各発光単位層中の井戸層の数は、図14に示すように、一律に同じ数ずつ設けることもできるし、図15に示すように、発光単位層の波長域に応じて、井戸層の数を変化させることもできる。すなわち、発光強度の高い波長域ほど、該波長域に寄与する井戸層の層数を大きく設定すれば、擬似連続スペクトルの設計も一層容易となる。

【 0 0 3 3 】

図2及び図3に示すように、第一の素子10及び第二の素子20のダブルヘテロ発光層部8, 18は、積層方向片側の主表面、すなわち第一の素子10及び第二の素子20の各第一主表面PFが光取出面とされており、図4及び図7に示すように、発光単位層（井戸層W1…Wn）は、発光波長の長いものほど、活性層の層厚方向において光取出面より遠い位置に配置されている。発光波長の短い光は、その発光波長のエネルギーよりも小さいバンドギャップを有する半導体に吸収されやすい傾向がある。しかし、上記のように、発光波長の長い発光単位層を光取出面から離して配置すれば、それよりも光取出面側に積層される発光単位層は、いずれも、下層側からの光のエネルギーよりもバンドギャップが広く、吸収が起こりにくくなる。従って、素子の光取出し効率を高めることができる。

【 0 0 3 4 】

他方、後述の演色性調整等の目的で、特定波長域の強度を強調あるいは抑制するために、図 1 6 に示すように、上記のバンドギャップエネルギー順の発光単位層の配列を、一部で作為的に入れ替えることも可能である。バンドギャップエネルギーの順位入れ替えにより、光取出面に近づいた発光単位層（図 1 6 では、バンドギャップエネルギーが E_{gk+1} の層）の光取出強度を相対的に強めたり、あるいはそれよりも下層側となる層（図 1 6 では、バンドギャップエネルギーが E_{gk} の層）の発光を、該発光単位層により吸収して発光を抑制したりすることができる。

【 0 0 3 5 】

また、キャリア閉じ込め効果により発光効率を高めるには、量子井戸構造を有するものとして発光単位層を構成することが望ましい。この場合、量子効果発現のため、井戸層の厚さを電子の平均自由行程以下（通常、10 nm 以下、例えば 2 ~ 5 nm）に設定する必要がある。量子井戸構造の採用により、波長の安定化や発光効率の向上を図ることができる。また、障壁層厚さも 10 nm 以下（ただし、トンネル効果によるキャリア通過を阻むため、5 nm 以上が望ましい）に小さくすれば、2 ~ 3 % 程度までであれば格子定数のずれが許容され、発光波長領域の拡大も容易である。また、バルクでは間接遷移領域となる短波長域でも、量子井戸によるキャリア局在化により直接遷移的な振る舞いに近づけることができ、短波長側への発光波長拡大を図る上で有利となる。

【 0 0 3 6 】

量子井戸構造においては、井戸層の厚さに上記のごとき制約があるため、層厚による発光強度の調整は期待できない。従って、量子井戸構造をなす発光単位層は、井戸層の層数にて発光強度が調整されることとなる。つまり、該発光単位層は、多重量子井戸構造を有したものとなる。多重量子井戸構造においては、サブバンド形成によりキャリア閉じ込め効果がさらに高められ、発光強度を向上させる目的においてより有利となる。なお、量子井戸構造において井戸層は、発光波長の短い発光単位層ほど、キャリアの平均自由行程が小さくなるため、層厚を小さく設定することが望ましい。

【 0 0 3 7 】

なお、発光単位層の変形例としては、図 2 0 に示すように、発光波長の互いに異なる複数の発光単位層 W_A を繰り返し単位として、該繰り返し単位 W_A を活性層 5 の層厚方向において複数形成する構成を採用することもできる。この構成は、各波長成分の強度分布をなるべく均一化する必要がある場合に有効である。例えば、ダブルヘテロ発光層部 8, 1 8 の、積層方向片側の主表面が光取出面とされている場合は、繰り返し単位 W_A 内にて発光単位層を、発光波長の長いものほど、活性層 5 の層厚方向において光取出面より遠い位置に配置すれば、光吸収の影響を軽減できるので有利である。

【 0 0 3 8 】

さらに、図 2 1 に示すように、1 つの井戸層 W_k を、複数の混晶比の化合物半導体の積層体として形成することにより、井戸底形状を階段状としたバンド構造を採用することもできる。この構成は、障壁層の数が少なくて済むので、製造工程が簡略化できる利点がある。

【 0 0 3 9 】

本実施形態では、得るべき擬似連続スペクトルが、白熱電球の連続スペクトルを模した擬似電球光スペクトルを有するように、両素子 1 0 及び 2 0 の活性層 5, 1 5 を設計している。図 1 8 は、タングステンフィラメントを用いた白熱電球を、色温度約 3 0 0 0 K にて発光させたときのスペクトル波形である。強度ピークは破線にて示すように、近赤外域の 8 0 0 n m 付近に存在し、可視光帯域での強度分布は、発光波長とともに増加する傾向となる。相当強度の赤外線を含むため、光源の温度上昇が生じやすいことが直ちに理解できる。

【 0 0 4 0 】

本発明においては、図 1 8 の連続スペクトルを、複数の発光単位層からの種々の波長の単色光（発光単位）を組み合わせて、いわばデジタル的に合成し、擬似連続スペクトルとする。第一の素子 1 0 において、波長 7 0 0 n m 以上にて発光する井戸層を設けなければ、図 1 8 に実線で示すように、赤外発光成分を大幅に削減できる。また、白熱電球の連続スペクトルにおいて短波長領域には、僅かではあるが有害な紫外線も含まれている。しかし、後述のように第二の素子 2 0 において、波長 3 6 0 n m 以下にて発光する井戸層を設けなければ、該紫外発光成

分も削減できる。

【 0 0 4 1 】

本実施形態では、各素子 1 0, 2 0 の活性層 5, 1 5 を、以下のように構成している。すなわち、図 5 及び図 8 に示すように、複数の発光単位層は、発光波長の長い発光単位層（井戸層）ほど発光強度が高くなるように調整される。具体的には、発光波長の長い発光単位層ほど、井戸層の厚さもしくは数を大きくする。図 1 8 に示すスペクトル波形に近づけるには、例えば、6 5 0 n m での強度 I_{650} と 5 6 0 n m での強度 I_{560} との比 I_{650}/I_{560} が 1.4 前後となるように設定する。例えば、第一の素子 1 0 において、バンドギャップエネルギーが略等間隔の 1 1 の量子井戸層を形成する場合の、各層のバンドギャップエネルギー、層厚及び層数の設定例を表 3 に示す（混晶比は、表 1 を参照して定めるとよい）。また、第二の素子 2 0 において、バンドギャップエネルギーが略等間隔の 7 つの量子井戸層を形成する場合の、各層のバンドギャップエネルギー、層厚及び層数の設定例を表 4 に示す。

【 0 0 4 2 】

【表 3】

	Eg(eV)	波長(nm)	層厚(nm)	層数
1	2.13	566	5	5
2	2.10	574	5	5
3	2.13	582	20	5
4	2.10	590	20	5
5	2.07	599	20	6
6	2.04	608	20	6
7	2.01	617	20	6
8	1.98	626	20	7
9	1.95	636	20	7
10	1.92	645	20	7
11	1.89	656	20	7

【 0 0 4 3 】

【表 4】

	Eg(eV)	波長(nm)	層厚(nm)	層数
1	3.17	391	3	3
2	3.01	412	3	3
3	2.85	435	3	3
4	2.66	466	3	4
5	2.50	496	3	4
6	2.34	530	3	4
7	2.22	559	3	5

【 0 0 4 4 】

図 5 及び図 8 に示すように、個々の発光単位層の発光スペクトル（以下、単位スペクトルという）は、それぞれ固有のピーク波長を有した分布の鋭いものになるが、これらが合成されて、破線で示すように、各単位スペクトルのピーク位置をつないだ形状の擬似連続スペクトルが、各素子 1 0, 2 0 から出力される。なお、個々の発光単位層中の井戸層の数が多ければ多いほど、モデルとする熱放射型光源のスペクトル波形（可視光部分）を忠実に再現できるが、層数を削減したい場合の微調整手段として、層厚調整を補助的に導入することも可能である。また、発光単位層中の全ての井戸層を量子井戸とするのではなく、一部の井戸層を層厚の大きい非量子井戸とすることもできる。

【 0 0 4 5 】

いずれの素子 1 0, 2 0 も、その発光スペクトルは波長が長くなるにつれ、発光強度は増加する。しかし、発光波長に対する可視光の相対視感度は、図 6 に示すように、明所では 5 5 5 n m 付近で最大となる。図 5 および図 8 には、視感度補正係数 V の波長依存性を示す曲線を一点鎖線にて示している。視感度補正強度は、絶対強度 I と視感度補正係数 V との積 $V \cdot I$ にて表すことができる。図 5 に示すように、第一の素子 1 0 は絶対強度 I と視感度補正係数 V との波長依存性が逆傾向なので、視感度補正強度 $V \cdot I$ は、中間波長域、具体的には黄色域からオレンジ色域にピークを生ずる。他方、図 8 に示すように、第二の素子 2 0 は絶対強度 I と視感度補正係数 V との波長依存性が同傾向なので、視感度補正強度 $V \cdot I$ は波長が長くなるとともに単調増加する。

【 0 0 4 6 】

そして、図 1 の照明用光源 5 0 からは、長波長域側の第一の素子 1 0 のスペクトルと短波長域側の第二の素子 2 0 のスペクトルとが合成されて出力される。その結果、第一の素子 1 0 のスペクトル波形 S A の短波長側に、第二の素子 2 0 のスペクトル波形 S B が接続されて、図 9 のような擬似電球光スペクトルが最終的に得られる。すなわち、擬似電球光スペクトルの絶対強度 I は、図 1 8 の白熱電球のスペクトル、すなわち視感度補正後の発光強度分布は、黄色域からオレンジ色域、すなわち 5 7 0 n m 以上 6 4 0 n m 以下に強度ピークを有し、白熱電球によく似た黄色味あるいはオレンジ色味を帯びた、暖かで柔らかい照明色が得られる。

【 0 0 4 7 】

なお、最終的な発光スペクトルの形状は、各波長の発光単位層の発光強度を、層数や層厚により調整することにより、所望のものを任意に形成できる。特に、自然光の演色性に近づけた照明光を得たい場合は、太陽光の連続スペクトルを模した擬似太陽光スペクトルを、擬似連続スペクトルとして合成すればよい。図 1 7 は、可視領域の太陽光スペクトルを示すものであるが、色温度が 6 0 0 0 K 前後と高いため、白熱電球と比べて、強度ピークは 4 0 0 n m 付近の短波長域に生ずる。また、可視光波長帯の略全域に渡って、波長が長くなるほど絶対強度 I は減少する傾向を示す。従って、図 5 及び図 8 とは全く逆に、複数の発光単位層は、発光波長の短い層ほど発光強度が高くなるように調整されればよい。表 5 に第一の素子 1 0 の、また、表 6 に第二の素子 2 0 の、各井戸層の層数の設定例を示す。

【 0 0 4 8 】

【表 5】

	Eg(eV)	波長(nm)	層厚(nm)	層数
1	2.13	566	5	6
2	2.10	574	5	6
3	2.13	582	20	6
4	2.10	590	20	6
5	2.07	599	20	6
6	2.04	608	20	5
7	2.01	617	20	5
8	1.98	626	20	5
9	1.95	636	20	5
10	1.92	645	20	5
11	1.89	656	20	5

【 0 0 4 9 】

【表 6】

	Eg(eV)	波長(nm)	層厚(nm)	層数
1	3.17	391	3	7
2	3.01	412	3	7
3	2.85	435	3	7
4	2.66	466	3	7
5	2.50	496	3	7
6	2.34	530	3	6
7	2.22	559	3	6

【 0 0 5 0 】

照明の分野においては、自然光の演色性を如何にすれば忠実にかつ安価に再現できるか、ということが長年にわたり 1 つ究極の課題であり続けてきた。例えば普及が著しい蛍光灯は、白色光ではあるが、そのスペクトルは、自然光（太陽光）スペクトルとの相違が大きく、演色性に難点がある。図 1 9 は、高演色性蛍光灯のスペクトルの一例であるが、バックグラウンド部分のスペクトル波形は図 1 7 の太陽光スペクトルと大きく隔たっていることがわかる。そこで、赤・緑・青（RGB）の 3 波長領域での幅の狭い発光材料を組み合わせざるを得ないのであるが、各色の蛍光体のスペクトルが輝線状の鋭いピークとなって突出す

る。図 1 7 との波形の相違から推察される通り、自然光との間には埋めがたい隔たりが生ずることは自明である。しかし、本発明を採用すれば、例えば表 5 あるいは表 6 に例示したような組合せにて、発光単位層のからの種々の波長の光を組み合わせるにより、図 1 7 に示す太陽光スペクトルの可視光部分を、擬似太陽光スペクトルとして極めて忠実に再現できる。例えば、J I S : Z 8 7 2 6 (1 9 9 0) に規定された平均演色評価指数において 8 5 以上は容易に実現でき、例えば、蛍光ランプの分野では、9 0 ~ 9 5 前後が限界といわれている平均演色評価指数を、これと同程度あるいはさらに高い値（例えば 9 5 ~ 1 0 0 ）に高めることも、比較的容易である。なお、図 1 9 に示すような蛍光ランプの波形を、本発明の発光素子により合成することも可能である。

【 0 0 5 1 】

以上、熱放射型光源のスペクトル波形をなるべく忠実に再現したい場合の実施の形態について説明したが、既に説明した通り、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、白熱電球の発光スペクトルから青色系の波長域の可視光をカットしても、残った波長域のみで、白熱電球特有の黄色ないしオレンジ色の優位な照明色を擬似的に実現できることに変わりはない。この場合、図 3 3 に示すように、第一の素子 1 0 のみで光源モジュール 5 0 を構成することができる。これにより実現される擬似連続スペクトルは、例えば図 5 に示す通りであり、有効波長域は約 9 0 n m である。また、赤色系の波長域がカットされた照明光を得たい場合は、第二の素子 2 0 のみで光源モジュールを構成すればよい。

【 0 0 5 2 】

また、特定の色調に対する演色性を高めるために、一部の波長域の強度分布を意図的に変更することも、本発明によれば、その波長域に対応する発光単位層の発光強度調整により、比較的容易に実現できる。具体的には、擬似連続スペクトルの有効波長域に属する予め定められた波長域を、当該波長域に対応する色調の演色性が、他の波長域に対応する色調への演色性よりも選択的に高められた演色波長域となるように、擬似連続スペクトルの強度分布を定めるようにする。このような光源により照明を行なうと、上記演色波長域として定めた色調を有する被照明体部分を鮮やかに目立たせることができる。図 3 2 にそのような演色波長域

を有する擬似連続スペクトルの例を示す。実線は赤領域である650nm付近に強度ピークが設けられており、赤系の色調（例えば、食肉の色などである）への演色性を高めることができる。他方、一点鎖線は、緑領域である550nm付近に強度ピークが設けられており、緑系の色調への演色性を高めることができる。特に、公園や庭などをライトアップしたとき、植物の緑を鮮やかに演出することができる。

【0053】

このような演色波長域を形成するには、演色波長域に寄与する発光単位層の発光強度を、他の波長域に寄与する発光単位層の発光強度よりも高く設定すればよい。例えば、図15には、演色波長域に寄与する発光単位層（Egx）の層数を、他の発光単位層の層数よりも選択的に増加させた例を示している。

【0054】

以下、上記の光源モジュール50を用いた照明装置の実施形態について説明する。図23は、本発明の一実施形態である照明装置90の回路図である。この照明装置90は、発光素子10, 20（光源モジュール50）と、当該発光素子10, 20に発光駆動電力を供給する電力供給部70とを有し、発光素子10, 20からの可視光を照明光として取り出す。電力供給部70は、電源部100からの出力電圧を発光素子駆動電圧に変換する電圧変換部99, 111, 121を有する。本実施形態において、第一の素子10は、AlGaInP系の発光素子であり、駆動電圧は2V前後、動作電流値は100mA～1A程度であり、消費電力は0.2～2W程度である。また、第二の素子20は、InGaAlN系の発光素子であり、駆動電圧は3V前後、動作電流値は100mA～1A程度であり、消費電力は0.3～3W程度である。外部電源としては、商用交流（例えばAC100V）、乾電池（例えばDC1.5V）あるいは自動車用バッテリー（DC9～15V）であり、電源回路（電圧変換部）により発光素子駆動電圧に変換して使用するのが妥当である。

【0055】

光源モジュール50は、半導体発光素子を用いているので白熱電球等と比較すればはるかに長寿命であるが、長期間使用していると発光強度が低下し、やがて

は寿命にいたる。従って、寿命到来した場合に、光源の交換ができるようになっていると便利である。図 2 3 に示すように、電圧変換部 1 1 1, 1 2 1 には、発光素子駆動電圧を出力する駆動電圧出力端子 1 3 0, 1 3 1, 1 3 2 が設けられている。また、光源モジュール 5 0 は、図 2 2 に示すように、発光素子 1 0, 2 0 と受電端子 6 1, 6 2, 6 3 とが一体化されたものとしておき、受電端子 6 1, 6 2, 6 3 にて駆動電圧出力端子 1 3 0, 1 3 1, 1 3 2 に着脱可能に取り付けられるようにすればよい。このようにしておく、寿命到来した光源モジュール 5 0 を取り外し、新しい光源モジュール 5 0 を受電端子 6 1, 6 2, 6 3 にて駆動電圧出力端子 1 3 0, 1 3 1, 1 3 2 に装着するだけで、交換作業を簡単に行なうことができる。

【 0 0 5 6 】

図 1 に示す光源モジュール 5 0 においては、金属導体よりなるカソード用ステージ 5 3 上に、A g ペースト等の金属導体ペーストを介して両素子 1 0, 2 0 の第二電極 3, 1 3 が接続されている。また、素子 1 0, 2 0 の第一電極 9, 1 9 は、導体金具 5 1 及び 5 2 に金属リード 9 a, 1 9 a により接続されている。カソード側となる第二電極 3, 1 3 は、カソード用ステージ 5 3 にて共通結線され、該カソード用ステージ 5 3 より、受電端子の 1 つをなすカソード端子 6 3 が取り出される。一方、導体金具 5 1 及び 5 2 からは、受電端子をなす個別のアノード端子 6 1, 6 2 が取り出されている。そして、これら受電端子 6 1, 6 2, 6 3 を突出させた形で、カソード用ステージ 5 3、素子 1 0, 2 0 及び導体金具 5 1 及び 5 2 の全体が、透光性の樹脂モールド 6 0 により覆われて、光源モジュール 5 0 が構成されている。樹脂モールド 6 0 はアクリル樹脂等の熱可塑性樹脂を使用できるが、2 素子からの光が十分に混合されるように、樹脂モールド 6 0 中に、気泡やガラスあるいはセラミックよりなる光散乱粒子 2 6 1 を分散配合しておくといよい。

【 0 0 5 7 】

なお、光源モジュール 5 0 に組み込む第一の素子 1 0 及び第二の素子 2 0 の数は、図 1 0 に示すように、各々 1 つずつとすることもできるし、図 1 1 及び図 1 2 に示すように、複数個組み込むこともできる。図 1 1 では、発光強度向上のため

め、各素子 1 0, 2 0 をいずれも同数ずつ設けた例であり、発光波長帯域の異なる両素子 1 0, 2 0 からの光を十分混合して出力できるよう、一定の経路（個々では、周方向）に沿って素子 1 0, 2 0 を交互に配置してある。一方、図 1 2 は、合成すべきスペクトルの波形調整や、あるいは両素子 1 0, 2 0 の発光レベルをマッチングさせる等の目的で、素子 1 0, 2 0 の数を異ならせて設けた例を示す。

【 0 0 5 8 】

図 2 3 においては、電源部として商用交流電源 1 0 0 が使用されている。そして、電圧変換部は、該商用交流電源を直流電圧に変換する AC / DC コンバータ 9 9 を有するものとされている。これにより、商用交流による既存の電燈線等に、照明装置 9 0 を簡単に取り付け使用できる。AC / DC コンバータ 9 9 は、例えばコンセントプラグ等で構成された電源電端子 1 3 5 にて、商用交流電源 1 0 0 に接続される。図 2 3 の実施形態では、AC / DC コンバータ 9 9 は、商用交流電源 1 0 0 の電源電圧（例えば 1 0 0 V）を所定の電圧（例えば 5 ～ 1 5 V）に降圧するトランス 1 4 0 と、降圧後の交流を整流する整流部 1 4 1 を有する。ここでは、整流部 1 4 1 としてダイオードブリッジを用い、全波整流を行なうようにしている。

【 0 0 5 9 】

整流部 1 4 1 による整流波形は、コンデンサ 1 4 2 にて平滑化された後、各素子 1 0, 2 0 の駆動安定化電源回路 1 1 1, 1 2 1 に分配入力される。駆動安定化電源回路 1 1 1, 1 2 1 は、それぞれレギュレータ IC 1 1 2, 1 2 2（コンデンサ 1 1 3, 1 1 4、1 2 3, 1 2 4 は発振防止用のものである）を有し、AC / DC コンバータ 9 9 からの入力電圧を、各素子 1 0, 2 0 に適した直流駆動電圧に変換して、アノード側駆動電圧出力端子 1 3 0, 1 3 1 に出力する。なお、素子 1 0, 2 0 の共通化されたカソード端子 6 3 は、接地側駆動電圧出力端子 1 3 2 を介して接地線 G に接続される。

【 0 0 6 0 】

図 2 2 は、図 2 3 の回路による照明装置 9 0 を、電燈 2 6 3 として構成した例である。この例では、光源モジュール 5 0 に端子ケース 6 6 及び電球バルブ 6 5

が組みつけられて、電球状の光源ユニット 6 4 が形成されている。端子ケース 6 6 の末端面からは、受電端子 6 1, 6 2, 6 3 がピン状に引き出されている。また、端子ケース 6 6 には、光源モジュール 5 0 を覆う透光性の電球バルブ 6 5 が一体化されている。電球バルブ 6 5 は、ガラスあるいはアクリル樹脂等の透光性を有する熱可塑性樹脂にて構成でき、気泡やガラスあるいはセラミックよりなる光散乱粒子を分散配合しておくか、あるいは内面をすりガラス状の面粗し部としておくことにより、光分散効果、ひいては各素子 1 0, 2 0 からの光の混合効果を高めることができる。

【 0 0 6 1 】

電燈 2 6 3 は本体ケース 7 3 を有し、該本体ケース 7 3 に取付凹部 1 3 3 a を有する光源ソケット 1 3 3 が設けられている。光源ユニット 6 4 は端子ケース 6 6 にて光源ソケット 1 3 3 の取付凹部 1 3 3 a に挿入され、その底面に設けられた雌コネクタ状の駆動電圧出力端子 1 3 0, 1 3 1, 1 3 2 に受電端子 6 1, 6 2, 6 3 がそれぞれ差し込まれて装着される。駆動電圧出力端子 1 3 0, 1 3 1, 1 3 2 は、電力供給部 7 0 の基板に接続され、さらに電力供給部 7 0 への電力供給線 1 3 4 a が、周知のスイッチボックス 7 2 を経て、電源プラグ 1 3 5 を有した電源コード 1 3 4 に接続されている。電源プラグ 1 3 5 を商用交流コンセントに差し込めば、電力供給部 7 0 を介して光源ユニット 6 4 の光源モジュール 5 0 に給電され、所期のスペクトルの照明光にて電燈 2 6 3 を点灯することができる。なお、操作部 7 4 によりスイッチボックス 7 2 を操作すれば、光源モジュール 5 0 への給電が ON / OFF され、電燈 2 6 3 の点灯 / 消灯を簡単に行なうことができる。

【 0 0 6 2 】

なお、図 2 2 の電燈 2 6 3 は、発光素子を用いた光源モジュール専用の装置として構成されていた。この場合、既存の白熱電球等を使用する照明装置には、光源モジュールを流用できない欠点がある。そこで、電圧変換部を、商用交流電源に直結された電球用ソケットに対し、電球用ソケットと互換性を有する装着導体部にて着脱可能に装着できるように構成しておけば、既存の電球用ソケットとの互換性を生じ、普及を促進することができる。以下、その例について説明する。

まず、電球用ソケットに電圧変換部を直結できるようにするには、電圧変換部をなるべくコンパクトで小型に構成する必要がある。図 2 4 に例示する回路 9 1 の構成では、AC/DCコンバータ 1 0 1 を、トランスに代えて、専用 L S I 1 0 2（例えば、ローム（株）製、BP 5 0 5 7 - 1 5 など）により構成し、軽量化を図っている。該 L S I 1 0 2 は、周辺のダイオード 1 0 9、コンデンサ 1 0 3、1 0 6、1 0 8、抵抗 1 0 4 及びコイル 1 0 7 により、ステップダウン型降圧回路を構成する。これ以外の部分の回路構成は、図 2 3 と全く同じなので詳細な説明は省略する。

【 0 0 6 3 】

図 2 5 は、具体的な電燈 8 0 の実施形態を示すものである。この構成では、電力供給部 7 0 を有した変換アダプタ 1 5 0 を構成し、商用交流電源に直結された電球用ソケット 8 4 に対し、これと互換性を有する装着導体部 8 7 にて変換アダプタ 1 5 0 を着脱可能に装着できるようにしてある。電球用ソケット 8 4 は、ベース 8 2 とともにねじ等の締結部材 8 2 a により天井や壁面などの被装着部に取り付けられる。そして、電球用ソケット 8 4 の内面には、雌ねじ状のソケット金具 8 5 と、これと絶縁状態で配置されたソケット側底部端子金具 8 6 とが配置され、電燈線 1 3 6 により商用交流電源から受電する。変換アダプタ 1 5 0 は、電力供給部 7 0 を収容したケース 1 5 2 を備え、電力供給部 7 0 の 2 つの交流入力部（一方が接地である）にそれぞれ接続される、電球用口金と同形状の雄ねじ状の装着導体部 8 7 と、アダプタ側底部端子金具 8 8 とが、ケース 1 5 2 から突出して設けられている。ケース 1 5 2 には、図 2 2 と略同一構造の電球ソケット 1 3 3 が設けられ（共通部分には同一の符号を付与して詳細な説明は省略する）ている。変換アダプタ 1 5 0 を装着導体部 8 7 にて電球用ソケット 8 4 に装着すると、装着導体部 8 7 とソケット金具 8 5 及びアダプタ側底部端子金具 8 8 とソケット側底部端子金具 8 6 とがそれぞれ導通し、電力供給部 7 0 が電燈線 1 3 6 より商用交流を受電する。そして、該変換アダプタ 1 5 0 の電球ソケット 1 3 3 に光源ユニット 6 4 を装着すれば、電燈 8 0 を点灯させることができる。なお、光源ユニット 6 4 を覆う透光性フード 8 1 が、ねじ式等の着脱部 8 3 にてベース 8 2 に着脱可能とされている。

【 0 0 6 4 】

また、電力供給部 7 0 と発光素子 1 0, 2 0 (光源モジュール 5 0) とを一体不可分に結合し、電圧変換機能付光源ユニットを構成することも可能である。この構成によると、変換アダプタ 1 5 0 がなくても、電球用ソケット 8 4 等に発光素子 1 0, 2 0 を簡単に取り付けて使用することができる。図 2 6 にその実例を示している。該電燈 8 0 は、図 2 5 の構成と略同じであるが、電力供給部 7 0 と装着導体部 8 7 とが光源モジュール 5 0 に一体化され、電圧変換機能付光源ユニット 7 9 が構成されている。光源モジュール 5 0 の寿命が尽きると、電圧変換機能付光源ユニット 7 9 を単位として、電力供給部 7 0 ごと交換を行なう。

【 0 0 6 5 】

以下、本発明の照明装置の他の実施形態について説明する。

図 2 7 は、燃焼光源を模した照明装置の一例として、蠟燭状の外観を有する照明装置 1 6 0 を構成した例である。該照明装置 1 6 0 は、図 1 に示す光源モジュール 5 0 を電力供給部 7 0 により商用交流電源により点灯駆動する。回路構成は、図 2 3 あるいは図 2 4 と全く同じである。そして、光源モジュール 5 0 の発光素子 1 0, 2 0 の擬似連続スペクトルは、燃焼光の連続スペクトルを模した擬似燃焼光スペクトルを有するものである。具体的には、蠟燭光の連続スペクトルを模するため、図 1 8 よりもさらに色温度の低い擬似連続スペクトル（例えば 1 5 0 0 K 程度）が得られるように、活性層 5, 1 5 が設計されている。発光色はさらにオレンジないし赤みの強いものとなる。電力供給部 7 0 は蠟燭の軸を模した本体 1 6 2 内に収容され、その先端に光源モジュール 5 0 が配置されるとともに、その外側を、炎の外観形状を真似た透光性フード 1 6 1 で覆っている。電力供給部 7 0 は、本体 1 6 2 から引き出された電源コード 1 3 4 及び電源プラグ 1 3 5 を介して、コンセントより受電する。

【 0 0 6 6 】

図 2 8 の照明装置 1 7 0 は、複数の光源モジュール 5 0 を直線的に配置して、直管状の蛍光ランプに代用できるようにしたものである。該照明装置 1 7 0 においては、本体ケース 1 7 2 内に電力供給部 7 0 が収容されている。また、本体ケース 1 7 2 の長手方向の一側面上には、光源モジュール 5 0 が予め定められた間

隔にて配置されており、本体ケース 1 7 2 に着脱可能な透光性フード 1 7 1 により外側が覆われている。光源モジュール 5 0 は、図 3 2 に実線にて示すような、赤色領域に演色波長域を有するものである。例えば、食肉店や食肉売り場には、図 2 9 に示すような商品 2 0 1 の陳列用冷蔵庫 2 0 0 が配置されるが、その冷蔵庫 2 0 0 の内側を照明装置 1 7 0 にて照明することができる。図 3 0 に示すように、この照明装置 1 7 0 により照らされた食肉 2 0 1 m は赤色が鮮やかに映えて見え、消費者の購買意欲をくすぐることができる。

【 0 0 6 7 】

また、図 3 1 の照明装置 1 8 0 及び 1 8 1 は野外照明用に構成した例であり、いずれも、図 1 と同タイプの光源モジュールを備えている。ここで使用される光源モジュールは、図 3 2 に一点鎖線にて示すような、緑色領域に演色波長域を有するものである。例えば、図 3 1 に示すように、これら照明装置 1 8 0 及び 1 8 1 により照らされた樹木 T R や芝生 G L 等の植物は緑色がひととき鮮やかに浮き立って見え、夜間の庭や公園を美しく幻想的にライトアップすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の発光素子を用いた光源モジュールの一例を示す模式図。

【図 2】

第一の発光素子の全体構成例を示す模式図。

【図 3】

第二の発光素子の全体構成例を示す模式図。

【図 4】

第一の発光素子の活性層の構成例を示すバンド図。

【図 5】

第一の発光素子による擬似連続スペクトルの概念説明図。

【図 6】

可視光に対する相対視感度の波長依存性を示すグラフ。

【図 7】

第二の発光素子の活性層の構成例を示すバンド図。

【図 8】

第二の発光素子による擬似連続スペクトルの概念説明図。

【図 9】

第一の発光素子と第二の発光素子との合成スペクトルの概念図。

【図 1 0】

光源モジュールにおける第一の発光素子と第二の発光素子との第一配置例を示す平面図。

【図 1 1】

同じく第二配置例を示す平面図。

【図 1 2】

同じく第三配置例を示す平面図。

【図 1 3】

活性層の第一変形例を示す伝導体底側のバンド図。

【図 1 4】

活性層の第二変形例を示す伝導体底側のバンド図。

【図 1 5】

活性層の第三変形例を示す伝導体底側のバンド図。

【図 1 6】

活性層の第四変形例を示す伝導体底側のバンド図。

【図 1 7】

可視光帯域の太陽光スペクトルを示す説明図。

【図 1 8】

可視光帯域の白熱電球のスペクトルを示す説明図。

【図 1 9】

蛍光灯のスペクトルの一例を示す説明図。

【図 2 0】

活性層の第五変形例を示す伝導体底側のバンド図。

【図 2 1】

活性層の第六変形例を示す伝導体底側のバンド図。

【図 2 2】

本発明の照明装置の第一実施形態を示す断面図。

【図 2 3】

本発明の照明装置の第一回路構成例を示す図。

【図 2 4】

本発明の照明装置の第二回路構成例を示す図。

【図 2 5】

本発明の照明装置の第二実施形態を示す断面図。

【図 2 6】

本発明の照明装置の第三実施形態を示す断面図。

【図 2 7】

本発明の照明装置の第四実施形態を示す断面図。

【図 2 8】

本発明の照明装置の第五実施形態を示す断面図。

【図 2 9】

図 2 7 の照明装置の使用例を示す図。

【図 3 0】

図 2 9 の効果説明図。

【図 3 1】

本発明の照明装置の第六実施形態を示す断面図。

【図 3 2】

本発明の発光素子により実現される、演色波長域を有する擬似連続スペクトルの例を示す模式図。

【図 3 3】

単一の発光素子により構成した光源モジュールの例を示す図。

【符号の説明】

1 0, 2 0 発光素子

8, 1 8 ダブルヘテロ発光層部

5, 15 活性層

W1 ~ Wn 井戸層 (発光単位層)

B 障壁層

10 第一の素子

20 第二の素子

50 光源モジュール

70 電力供給部

100 電源部

99, 111, 121 電圧変換部

130, 131, 132 駆動電圧出力端子

61, 62, 63 受電端子

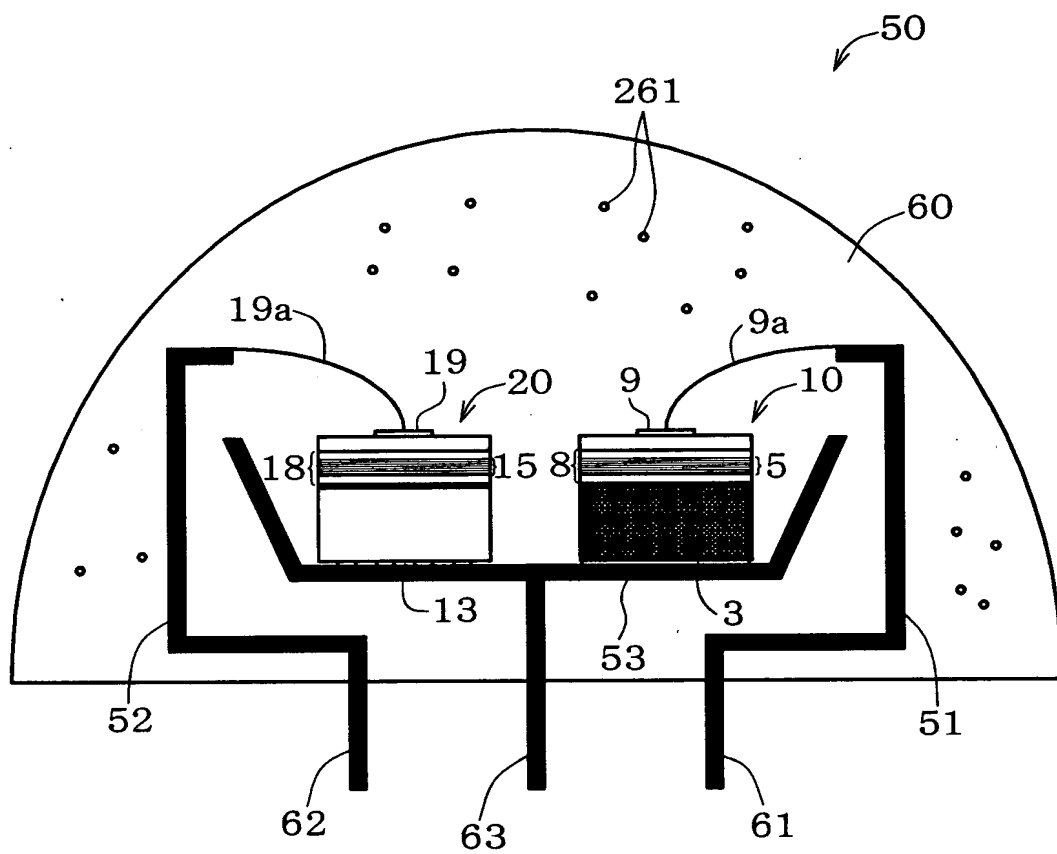
79 電圧変換機能付光源ユニット

84 電球用ソケット

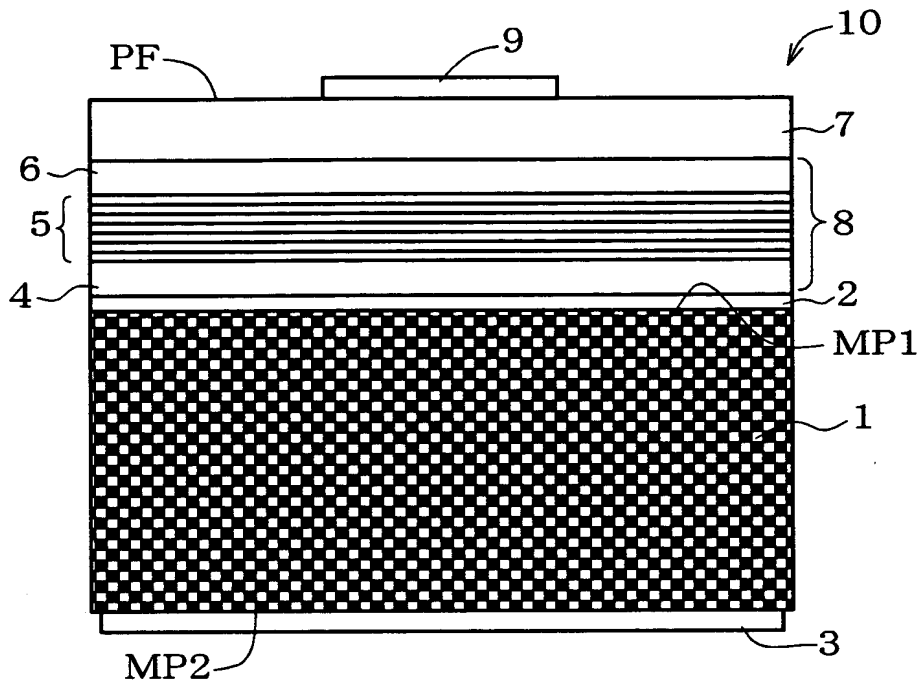
87 装着導体部

【書類名】 図面

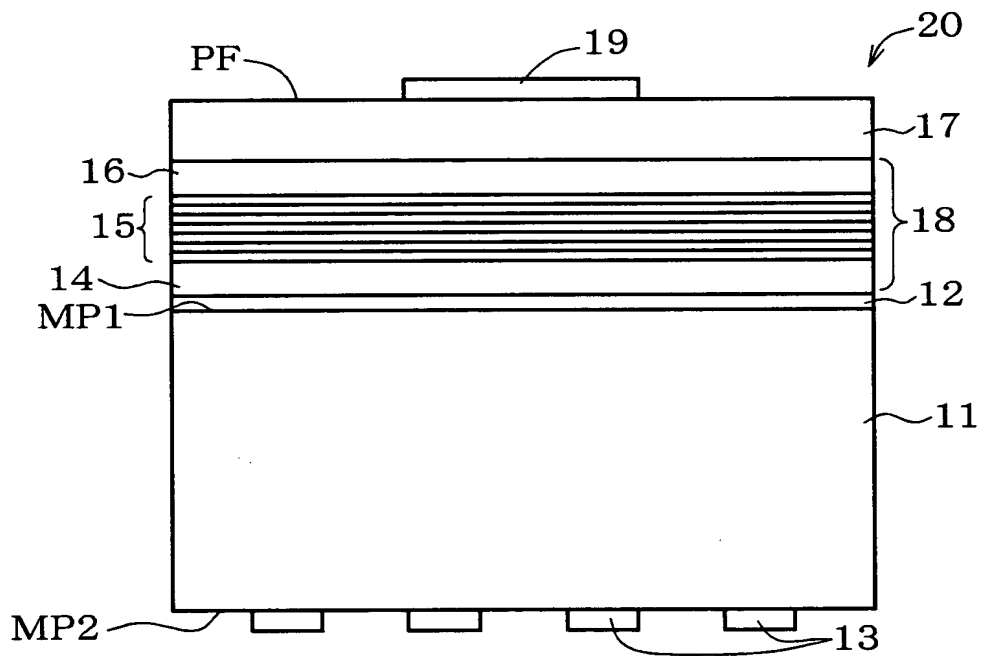
【図 1】



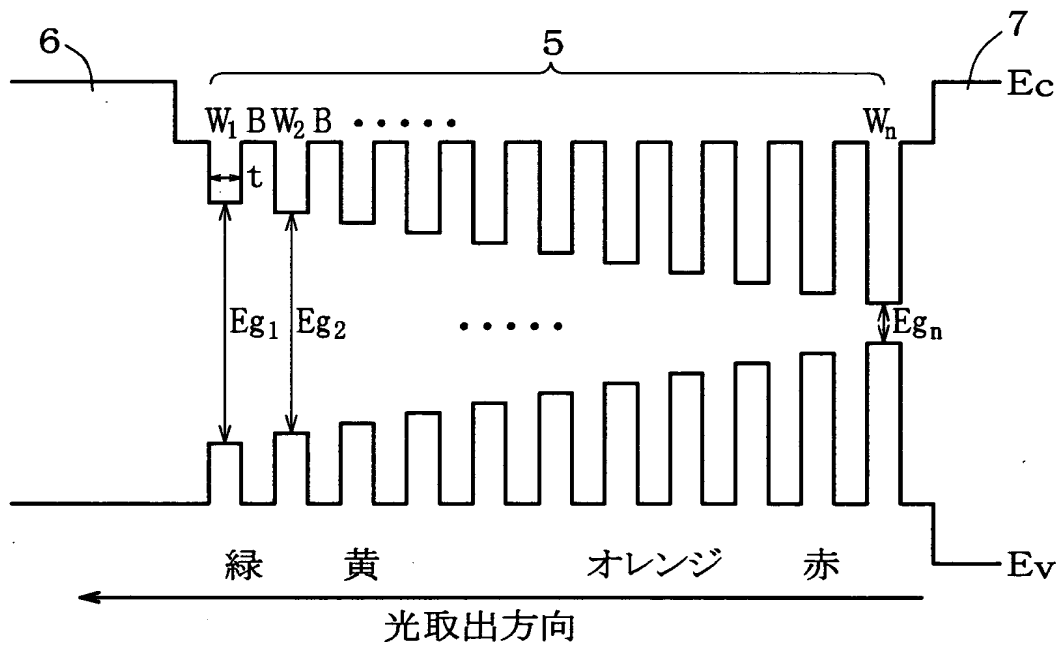
【図 2】



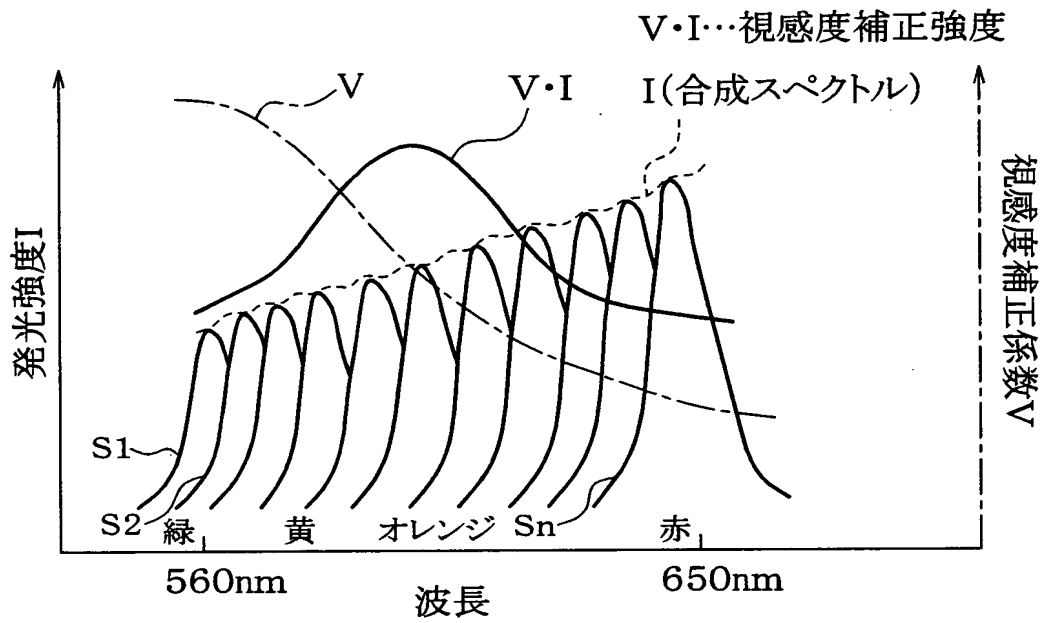
【図 3】



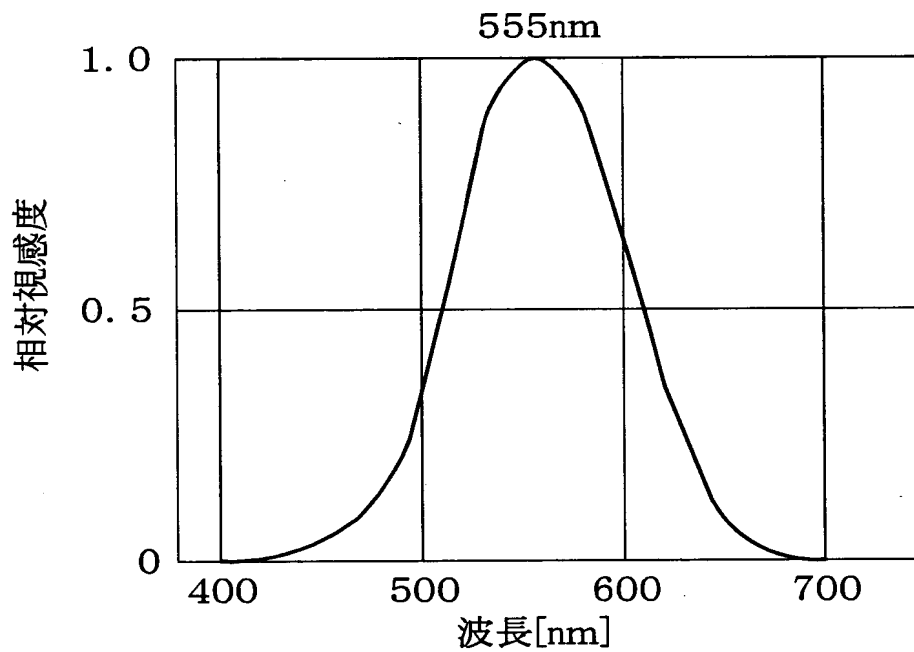
【図4】



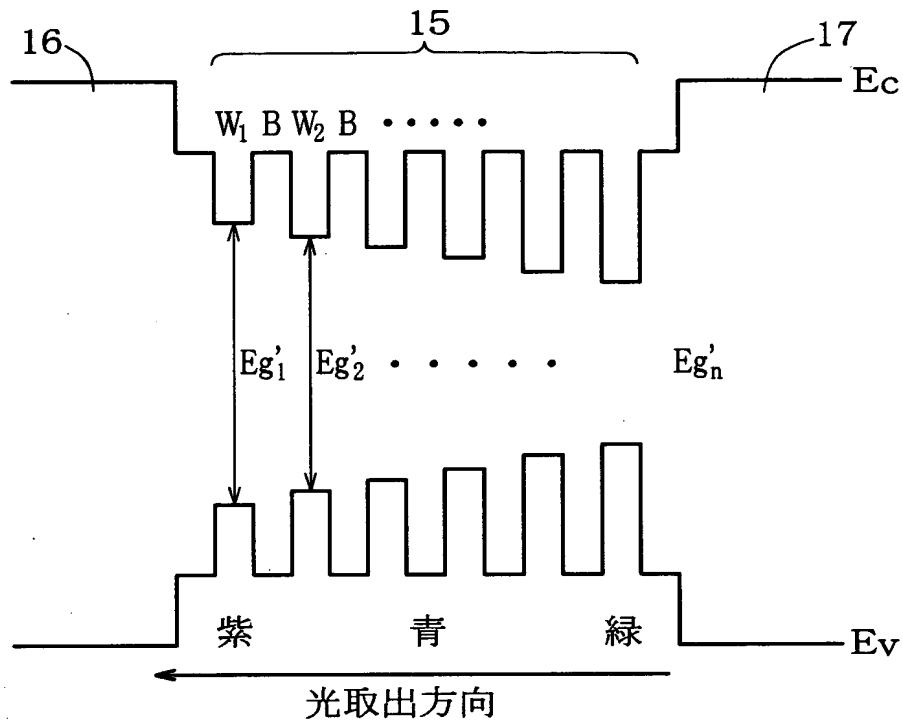
【図5】



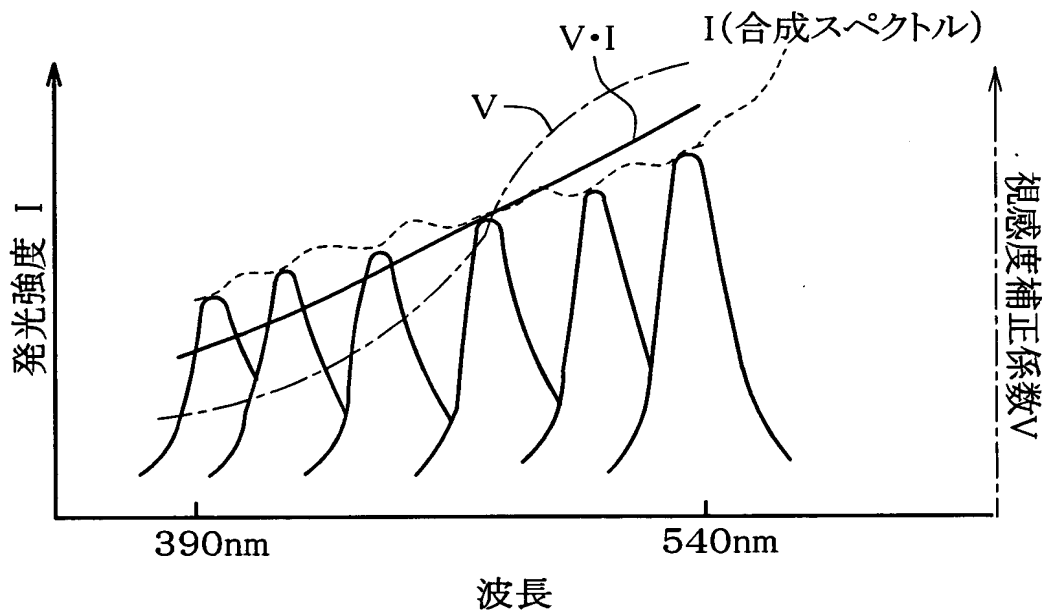
【図6】



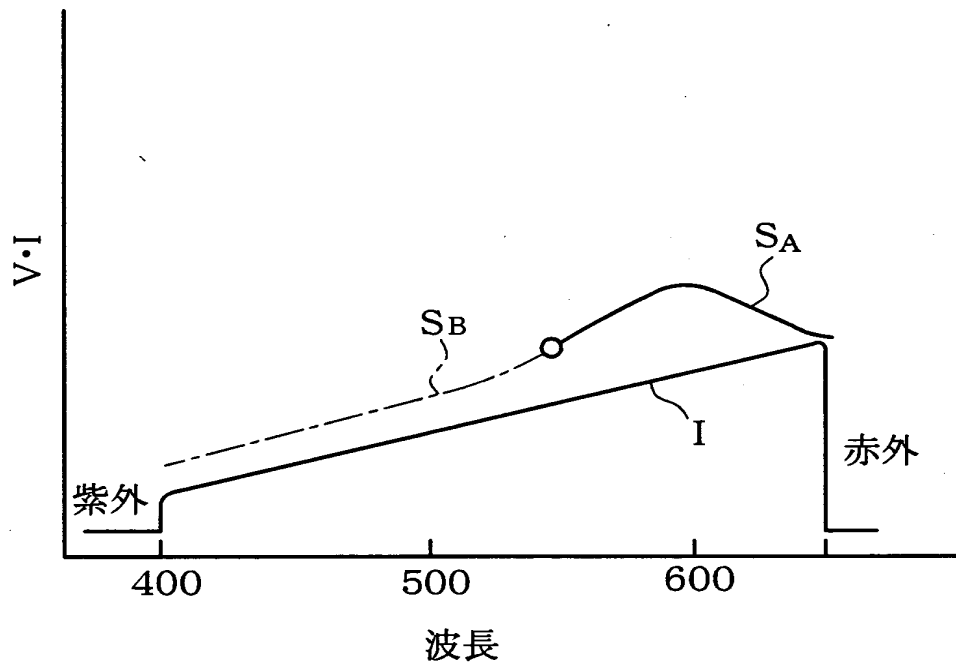
【図 7】



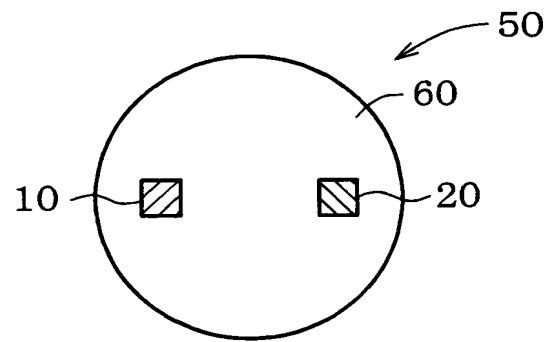
【図 8】



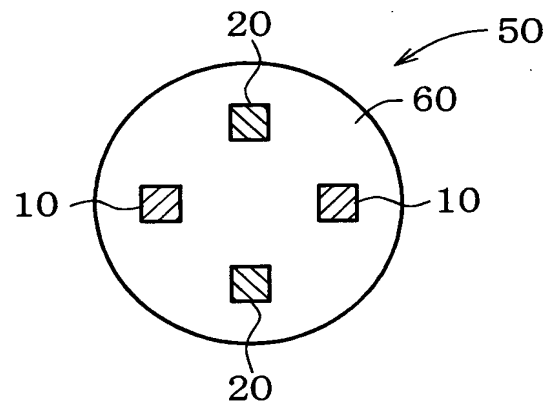
【図 9】



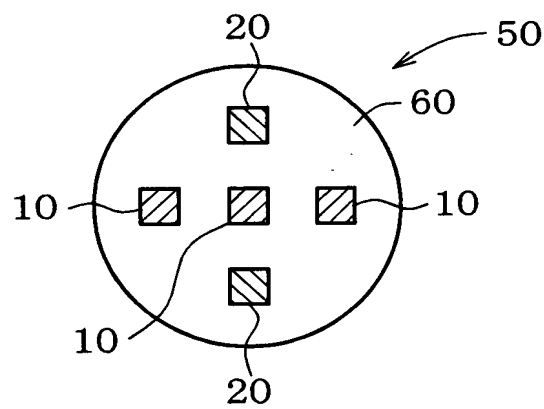
【図 1 0】



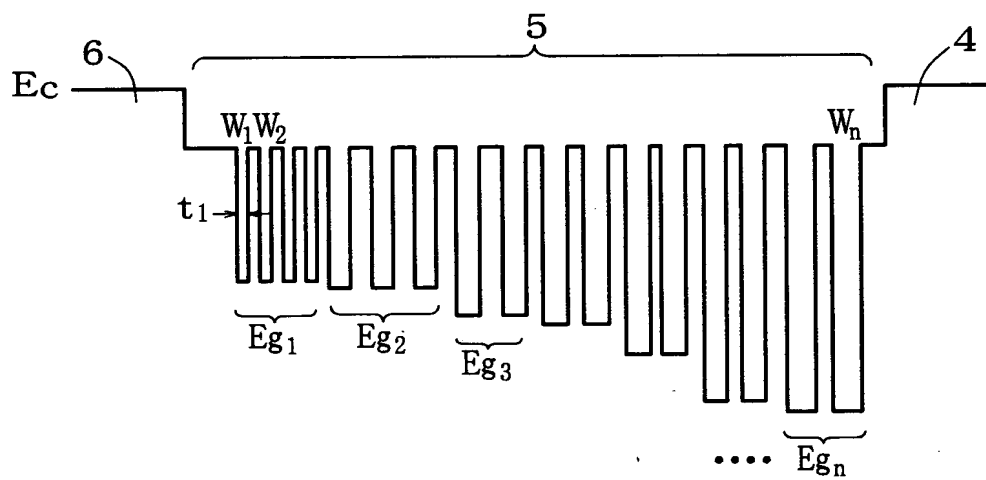
【図 1 1】



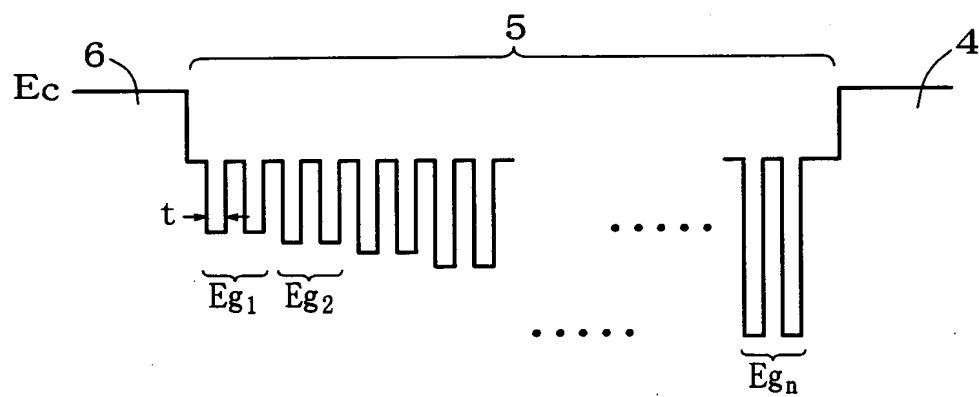
【図 1 2】



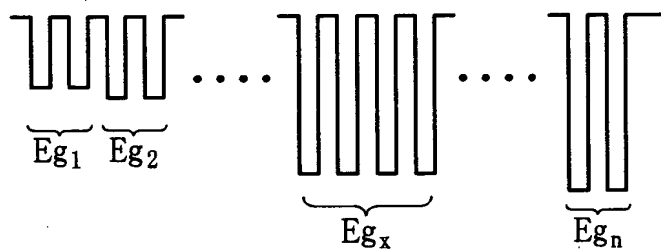
【図 1 3】



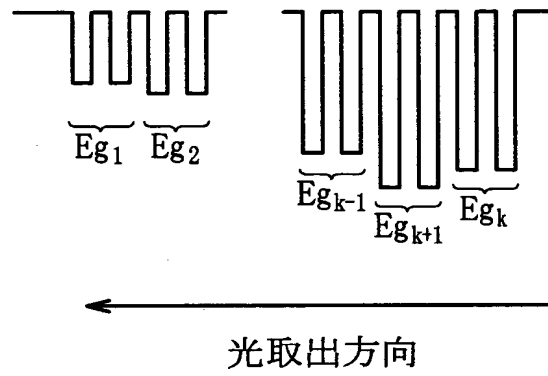
【図 1 4】



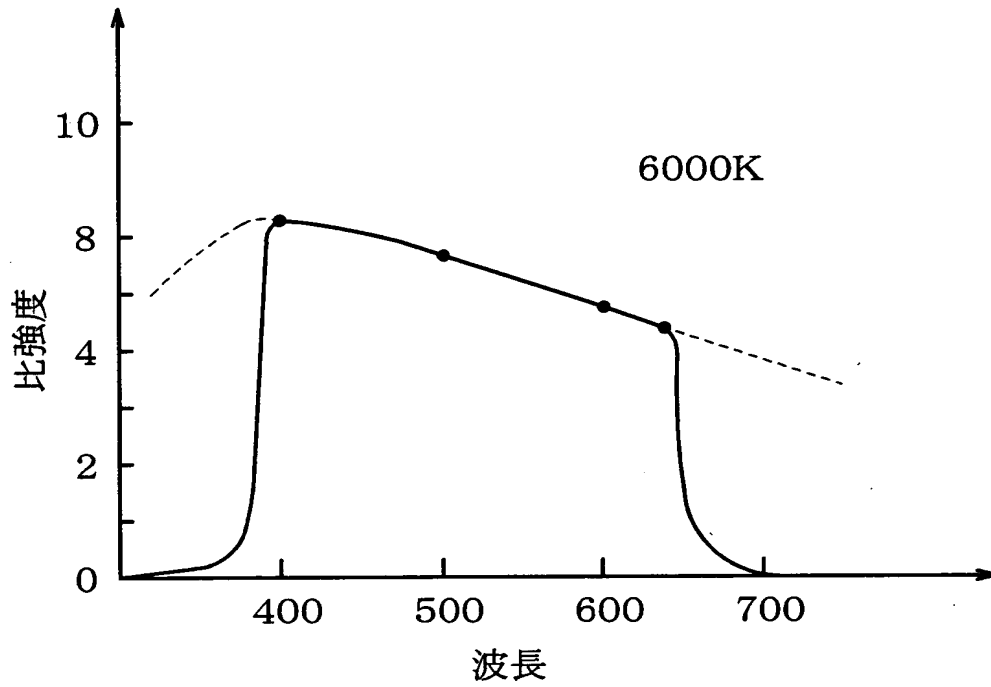
【図 1 5】



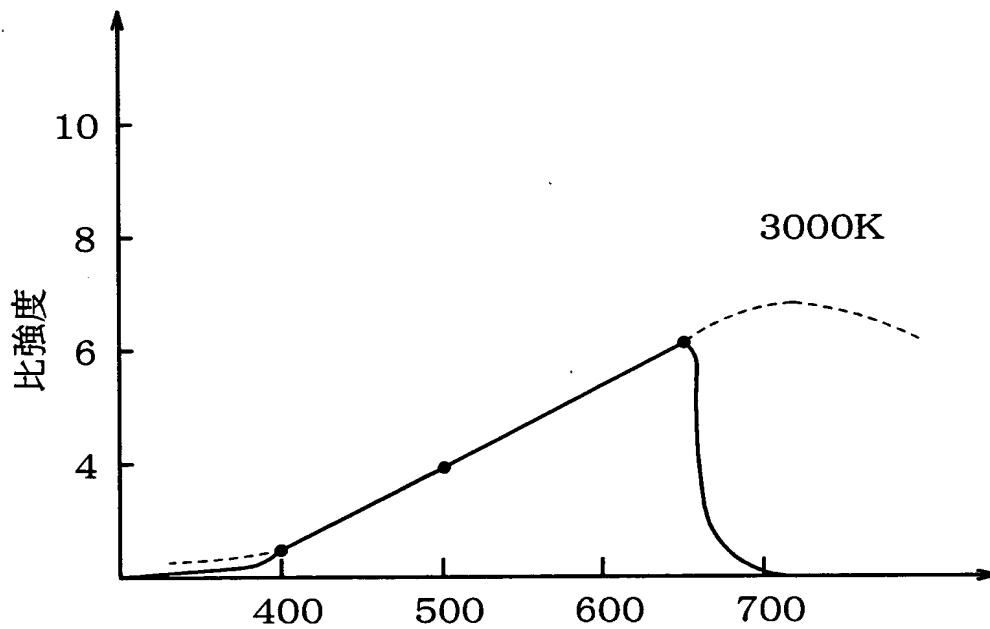
【図 1 6】



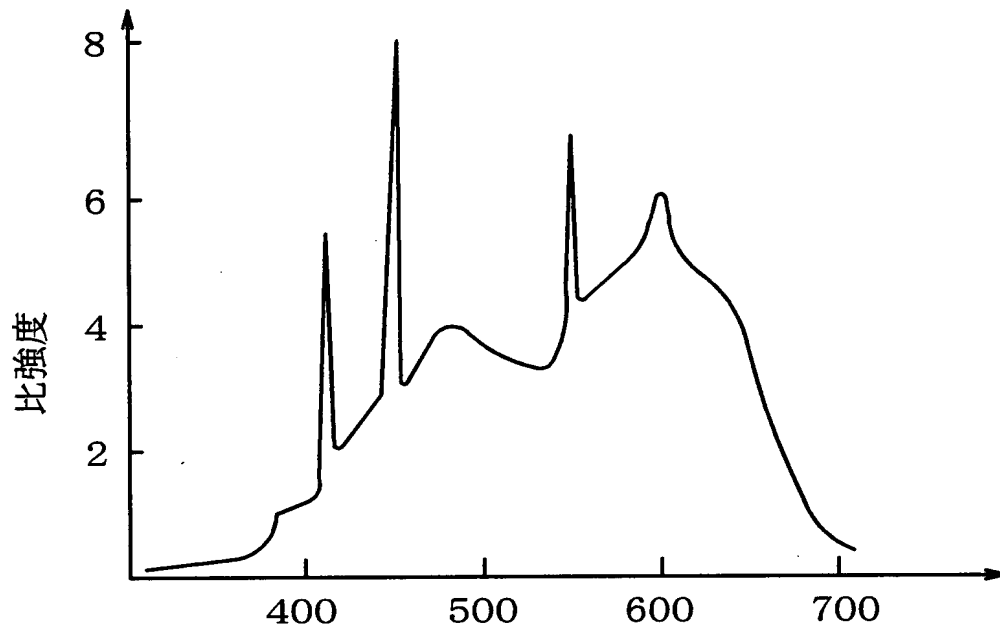
【図 17】



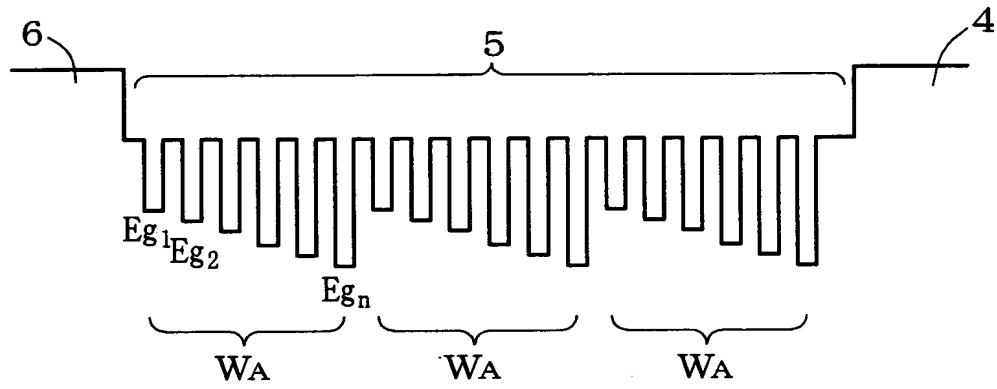
【図 18】



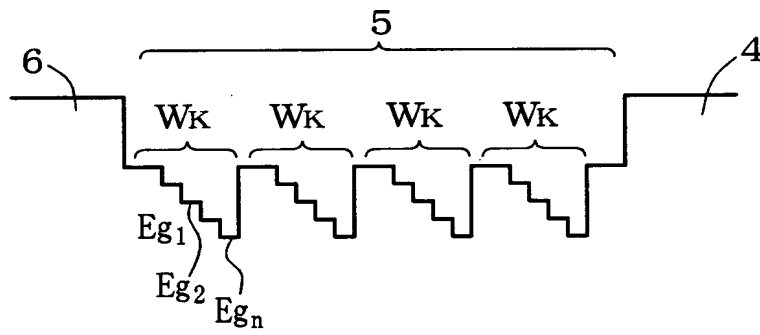
【図 1 9】



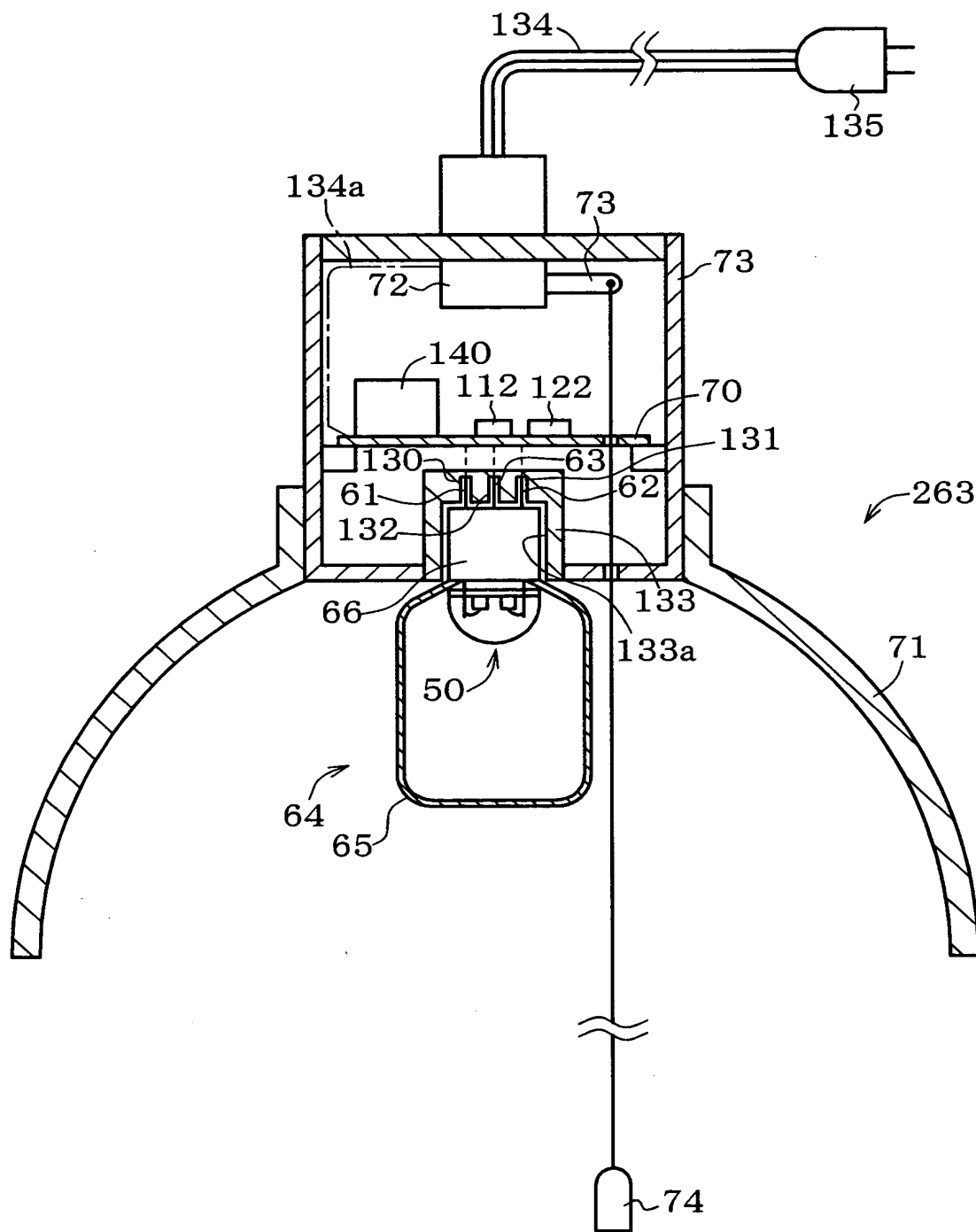
【図 2 0】



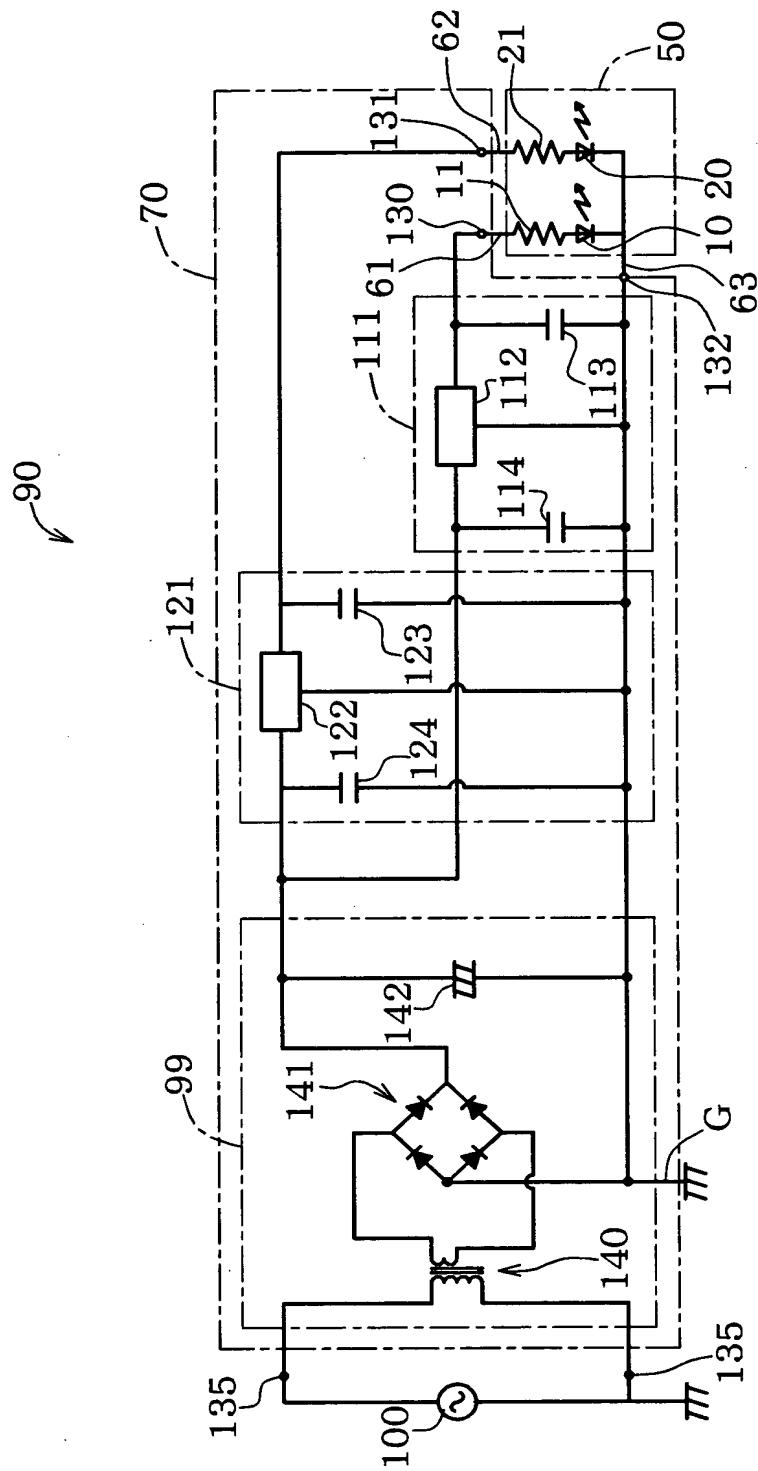
【図 2 1】



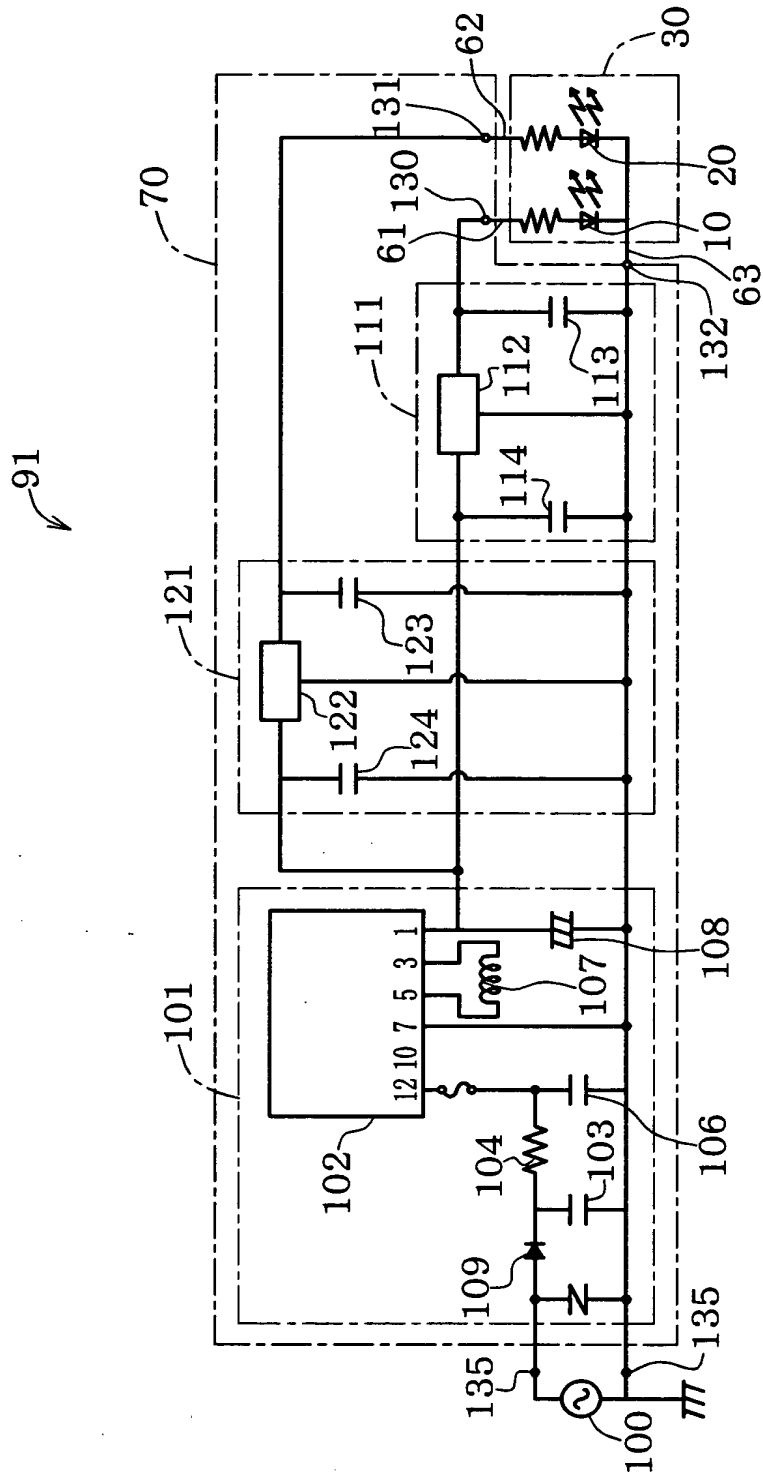
【図 22】



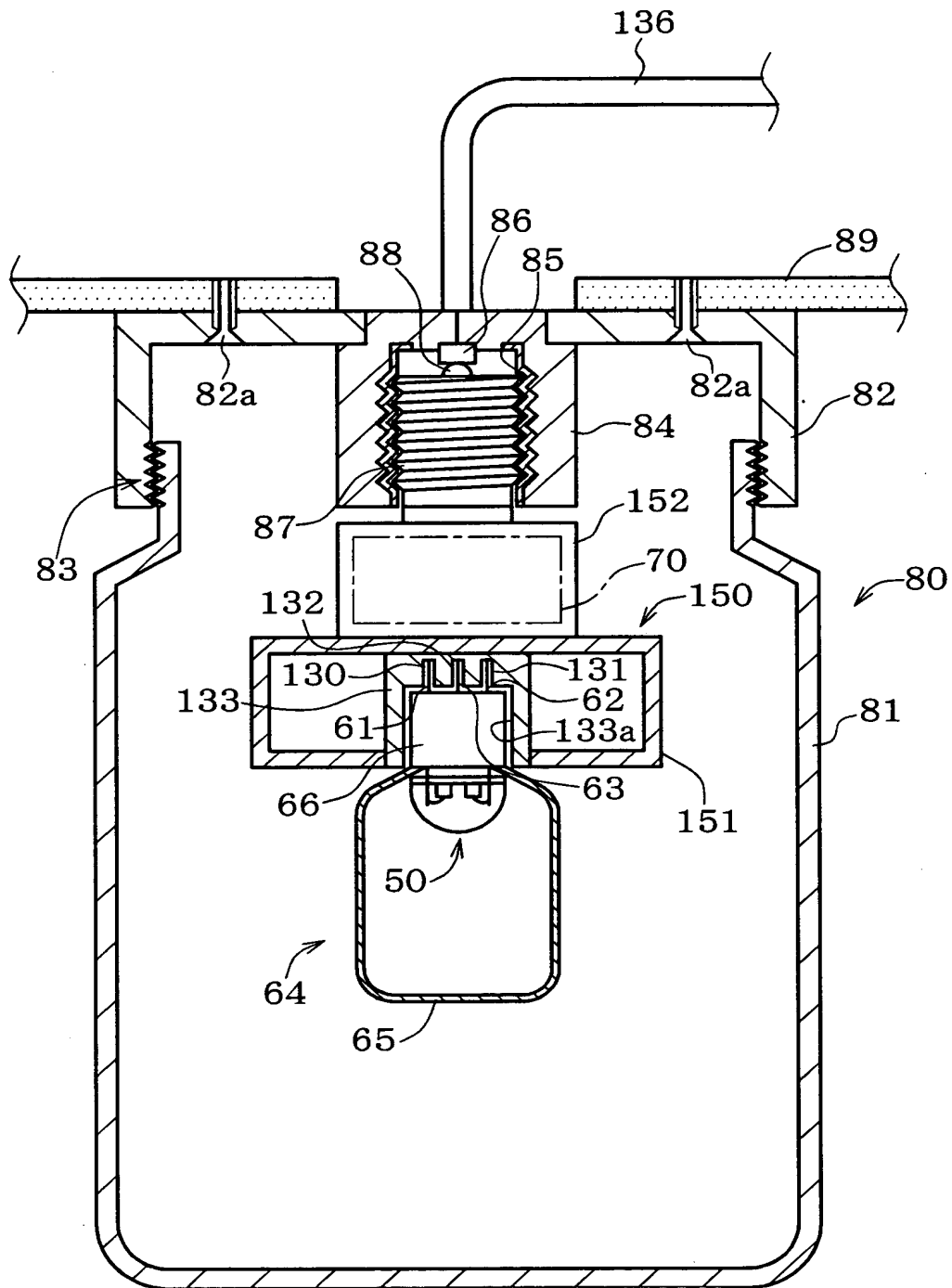
【図 23】



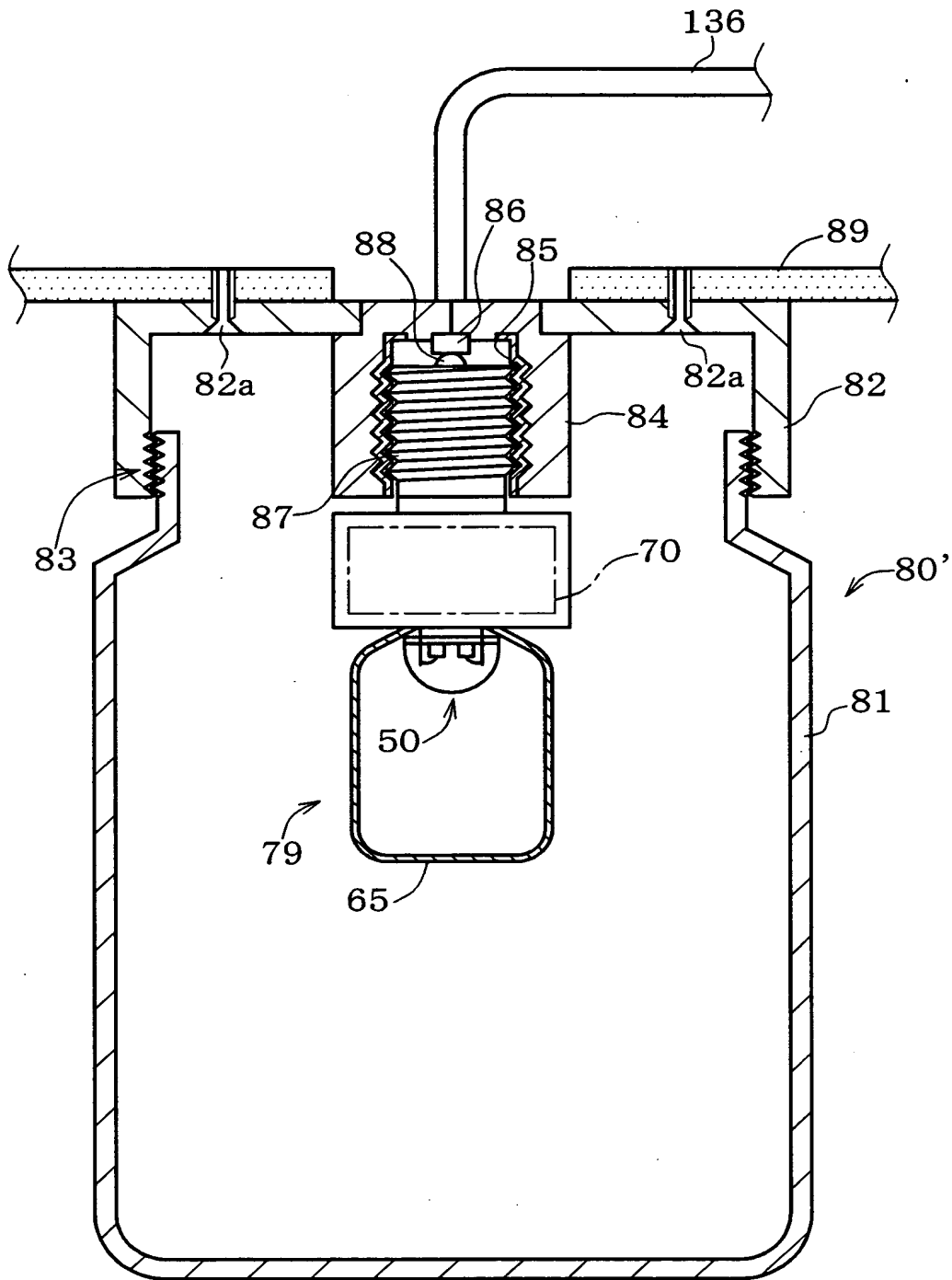
【図 24】



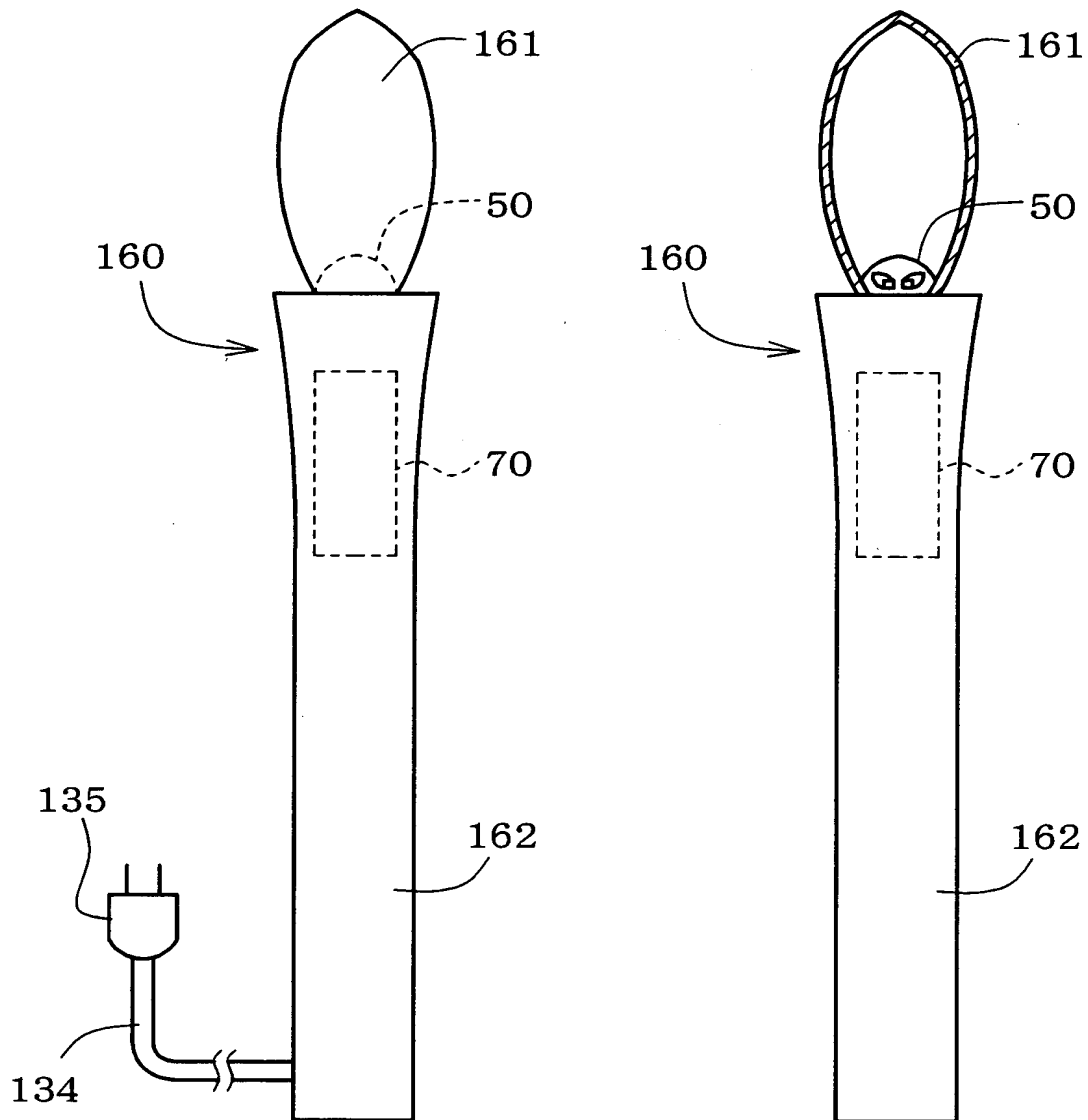
【図 25】



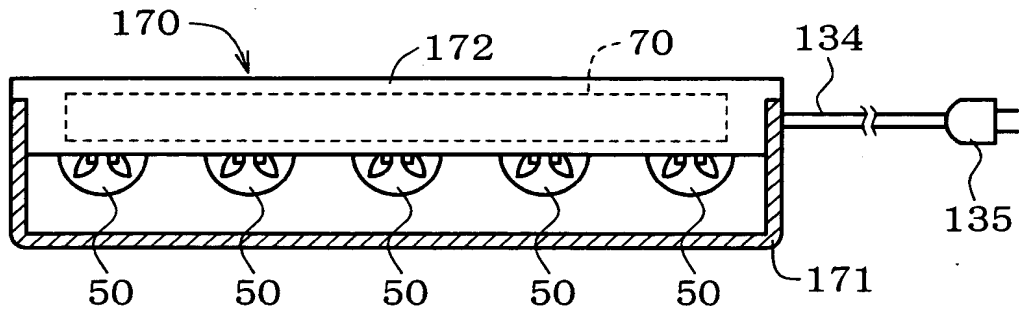
【図 2 6】



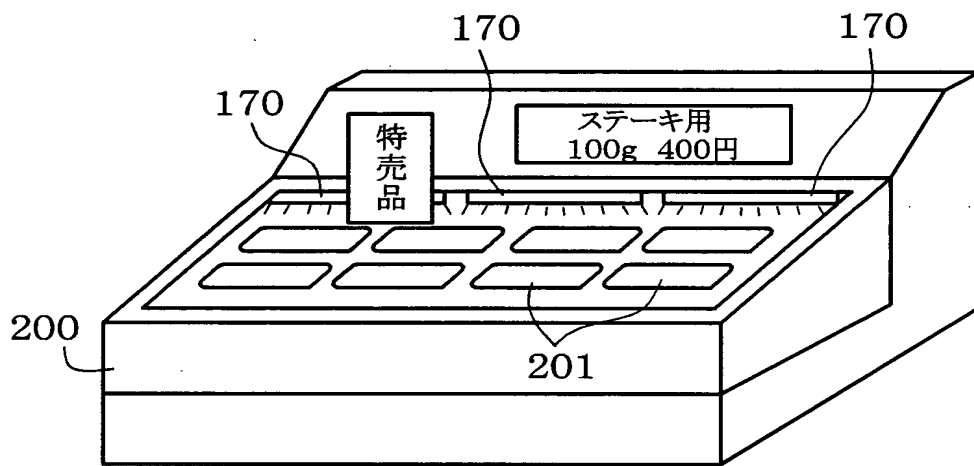
【図 2 7】



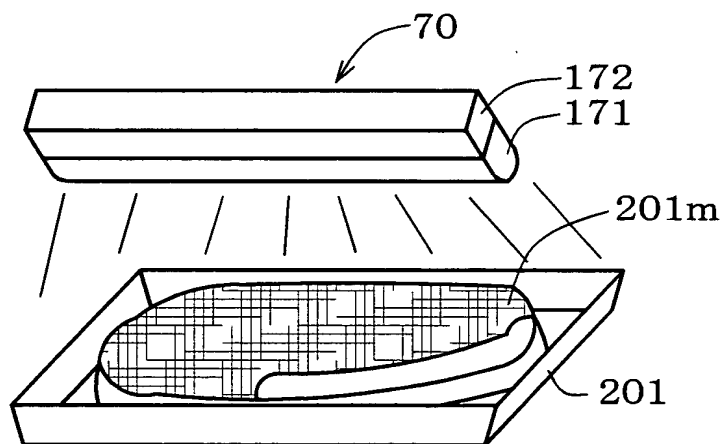
【図 2 8】



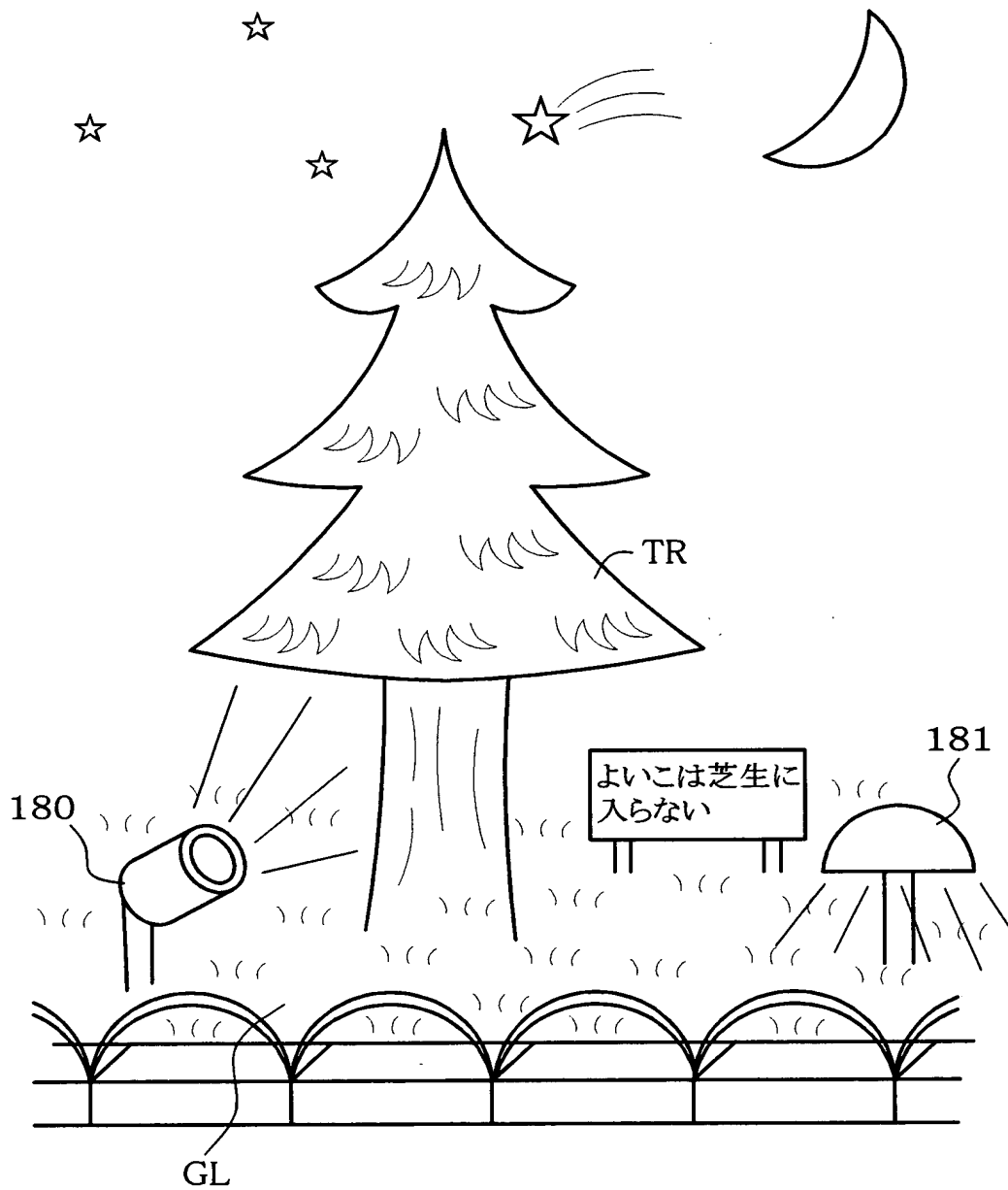
【図 2 9】



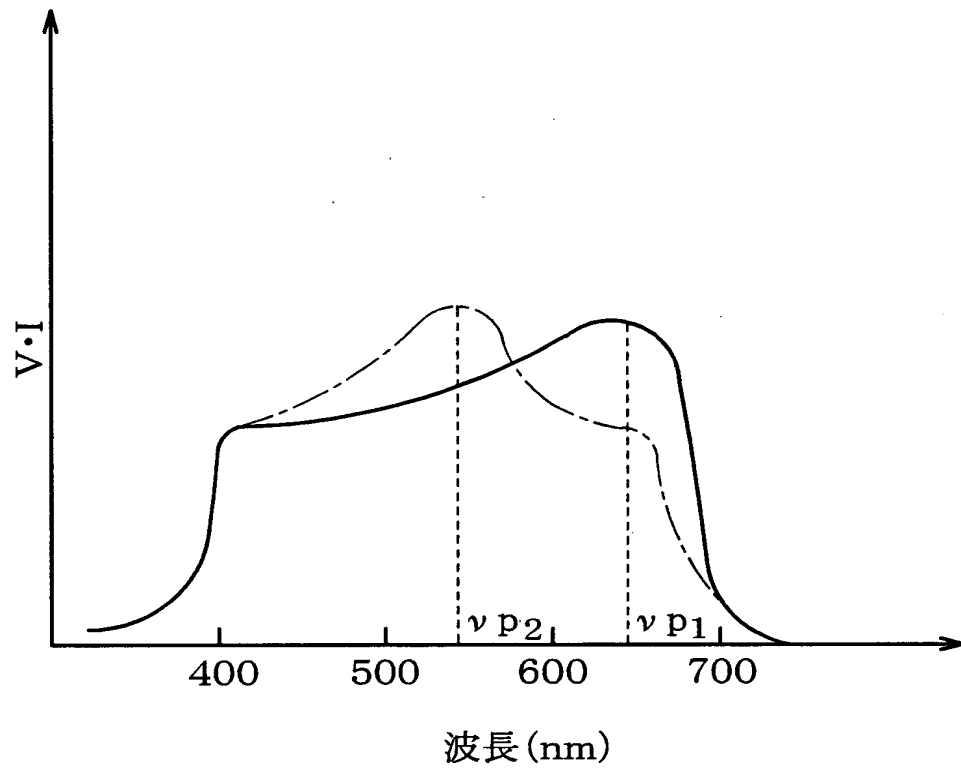
【図 3 0】



【図 31】



【図 3 2】



【図 33】

